



ENTWICKLUNG EINES MONITORINGKONZEPTES ZUR BEWERTUNG VON ILUC

PROF. DR. RAINER KÜHL
M.Sc. ANNE STOLLENWERK

unter Mitarbeit von
M.Sc. Florian Dreyer und
B.Sc. Lea Kirsten

INSTITUT FÜR BETRIEBSLEHRE DER AGRAR- UND
ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT
DER JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIEßEN
SENCKENBERGSTRASSE 3
35394 GIEßEN

ABSCHLUSSBERICHT

Projekt Nr. 529/211

gefördert durch

Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP)

Gießen 2022

Entwicklung eines Monitoringkonzeptes zur Bewertung von ILUC

1 Einleitung und Zielsetzung des Projektes

Die Erneuerbaren Energie Richtlinie (RED II, 2018/2001) setzt den Rahmen für neue Energiepolitik der EU für die Jahre 2021-2030. Für pflanzenbasierte Biotreibstoffe, wie etwa Biodiesel, ermöglicht die RED II die bisherigen Investitionen in diesen Energiebereich weiter zu nutzen, indem die Richtlinie den Mitgliedstaaten die Möglichkeit gibt, ihren Energieverbrauch auf dem Niveau des Jahres 2020 (plus 1%) bis zur maximalen Obergrenze von 7% zuzulassen. Mit der Idee, den Zusammenhang zwischen pflanzenbasierten Biokraftstoffen und der Abholzung von Wäldern in den Pflanzenöl-produzierenden Ländern aufzulösen, wurde das Thema der Indirekten Landnutzungsänderungen (ILUC) einem neuen Ansatz unterzogen. Die Verwendung von Energierohstoffen mit einem hohen ILUC-Risiko (also pflanzliche Bioenergie-Rohstoffe, die auf Fläche mit einem hohen Kohlenstoffbestand angebaut werden) soll in den EU-Mitgliedstaaten eingeschränkt werden und bis zum Jahr 2030 vollständig auslaufen. Eine Ausnahme von diesen Beschränkungen ist für Rohstoffe mit einem geringen ILUC-Entwaldungsrisiko vorgesehen. Dieses liegt dann vor, wenn die vermehrte Rohstoffgewinnung durch Produktivitätsfortschritte bei bereits bestehenden Kulturen erfolgt oder der Anbau auf definierten Nutzungsflächen durchgeführt wird und hierfür eine Zertifizierung vorliegt. Die Bedingungen dafür, wann ein Rohstoff zu den Produkten mit geringem ILUC-Risiko gehört, sind in der Delegierten Verordnung 2019/807 festgelegt. In der Verordnung vom März 2019 hat die EU-Kommission die Verwendung von Palmöl für den Bioenergiesektor mit dem höchsten ILUC-Risiko belegt, gefolgt von der Sojaölverwendung.

Trotz der in den Rechtsakten formulierten Bedingungen für die Verwendung von bestimmten Rohstoffen zur Gewinnung von Bioenergie, bestehen nach wie vor eine Reihe von Unsicherheiten. Diese beziehen sich auf den tatsächlichen Umfang der Verwendung von Palmöl zur Bioenergieherstellung und des Ausmaßes des Ausbaus der Palmölproduktion in sensiblen Gebieten, ebenso in der Messung des Umfangs, der durch den Verbrauch ausgelösten indirekten Landnutzungseffekte. Zu diesen Unsicherheiten tragen vor allem die unterschiedlichen Erfassungs- und Berechnungsmethoden des Entwaldungsumfangs (Deforestation) in den jeweiligen Erzeugerländern bei. Diese führen zu erheblichen Interpretationsspielräumen, da die aktuelle Datenlage und auch die Qualität der erhobenen Flächendaten mögliche Veränderungseffekte häufig unzureichend belegen. Aus diesen Gründen ist ein ständiges Monitoring der Anbauveränderungen für die Zukunft angezeigt, um die Fortentwicklung der Landnutzungsänderungen auf wissenschaftlicher Basis zu beobachten und zu bewerten. Vor diesem Hintergrund war es die Aufgabe der Studie auf Basis der Richtlinie die Fortentwicklung der Datenlage und der wissenschaftlichen Erkenntnisse kontinuierlich zu verfolgen.

Die vorliegende Studie untersucht die aktuellen Entwicklungen der Landnutzungsänderungen für die drei wichtigen Ölpflanzen Palm, Soja und Raps mit folgenden Schwerpunkten:

-
- (1) Die Grundlage für die Erfassung aktueller indirekter Landnutzungsänderungen (ILUC) ausgelöst durch Biokraftstoffe, deren Ausgangsprodukte Sojabohnen, Ölpalmen und Raps (SOR) sind, bilden ausschließlich wissenschaftliche Studien zum Themenkomplex Landnutzungsänderungen. Voraussetzung für eine qualifizierte Beurteilung der Entwicklung ist die Berücksichtigung aktuell veröffentlichter wissenschaftlicher Studien, die in einschlägigen qualifizierten wissenschaftlichen Fachjournalen (begutachtete, sogenannte peer-review Journale) erschienen sind. Als aktueller Beobachtungszeitraum wurden die Jahre 2018 bis 2022 festgelegt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, um unmittelbar an die von der EU-Kommission vorgenommene Bestandaufnahme (s. COM(2019) 142 final vom 13.3.2019 über den Stand der Ausdehnung der weltweiten Produktion einschlägiger Nahrungs- und Futtermittelpflanzen; vgl. EU Commission, 2019) anzuschließen und sie um die aktuelle Entwicklung fortzuschreiben .
 - (2) Ein kontinuierliches und systematisches Monitoring und eine Bewertung der jeweils aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse über Landnutzungsänderungen und deren ökologischen Effekte bei den betroffenen Nutzpflanzen (Soja, Palmöl, Raps) sollte über eine zu erstellende Literatur-Datenbank gewährleistet werden. Auch sollten die Bedeutung und die Entwicklung von Torfmoorflächen, wie sie in der RED II-Richtlinie formuliert werden, Gegenstand der Untersuchung sein. Zur ökonomischen Bewertung der Auslöseeffekte für eine indirekte Landnutzungsänderung im Rahmen eines Monitorings war beabsichtigt, das von der EU-Kommission entwickelte Berechnungsmodell zur Überprüfung von Flächennutzungsveränderungen fortzuschreiben.
 - (3) Für eine valide Erfassung der Landnutzungsänderungen werden in den Studien verschiedene Bewertungsmethoden verwendet. Alle Methoden versuchen mögliche Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen zusätzlichem Rohstoffbedarf (vor allem Palm- und Sojaöl) infolge der EU-Biokraftstoffpolitik und deren Beiträge zum Rückgang der Urwaldflächen mit hohem Kohlenstoffbestand aufzuzeigen. Hier sind die unterschiedlichen methodischen Ansätze zur Erfassung der Landnutzungsänderungen in ihrer Aussagekraft zu bewerten.
 - (4) Ebenso sollte versucht werden, die Produktions- und Klimaleistungen der Rapsproduktion zu berücksichtigen. Damit ist beabsichtigt, mögliche Fehlinterpretationen bezüglich der direkten und indirekten Landnutzungseffekte wirksam zu begegnen.

Für den Untersuchungszeitraum von 2018 – 2022 wurden die Sichtungsergebnisse der für die Analyse herangezogenen qualifizierten Fachliteratur in verschiedenen Dokumentenlisten zusammengefasst. Jeder einzelne Themenschwerpunkt schließt mit einer die Literatur zusammenführenden Übersicht ab. Alle relevanten wissenschaftlichen Beiträge der Studie wurden zusätzlich zum Projektbericht in einer das Monitoring-Konzept unterstützenden Datenbank auf Basis einer Excel-Datei zeitlich chronologisch und inhaltlich aufgearbeitet erfasst. Diese Form der Dokumentation gewährleistet eine stetige Aktualisierung und Fortschreibung der wissenschaftlichen Studienlage.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Zielsetzung des Projektes	2
2	EU-Rechtsrahmen zur Bedeutung von ILUC	5
3	Sichtung der wissenschaftlichen Literatur zu Indirekten Landnutzungseffekten ..	9
3.1	Zur Messung von ILUC	10
3.2	Aktuelle Entwicklungstendenzen indirekter Landnutzung	12
3.2.1	Sojaproduktion	12
3.2.2	Palmölproduktion	16
3.2.3	Rapsproduktion	26
4	Ökonomische Bewertung der Auslöseeffekte für indirekte Landnutzungs- änderung im Rahmen des Monitorings (auf Grundlage des EU-Berechnungs- modells)	33
5	Methoden zur Erfassung von Landnutzungsänderungen	39
5.1	Systemdynamische Modellierung	39
5.2	Allgemeine und partielle Gleichgewichtsmodelle	40
5.2.1	Allgemeine Gleichgewichtsmodelle - Computable General Equilibrium Models (CGEs)	41
5.2.2	Partielle Gleichgewichtsmodelle – (GLOBIOM)	43
5.3	Bewertung der Modellkonzepte	48
5.4	Modellierung mit Hilfe von Geo-Informationssystemen - (GIS)	49
6	Relevante Journalbeiträge der Jahre 2018 – 2022 (September)	56
7	Zusammenfassung der Projekt-Erkenntnisse	60
	Exkurs zu Raps THG-Emissionen und Lebenszyklusanalysen	64
	Literaturverzeichnis	70

ÜBERSICHTSVERZEICHNIS

1	Zum Literaturauswahlverfahren	10
2	Aktuelle Studieninhalte zum Ölsaatenkomplex	28
3	Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand	35
4	Ergebnisse zu indirekten Landnutzungsänderungen für Palmöl-Biodiesel (Zusammenfassung)	47
5	Methoden zur Messung indirekter Landnutzungseffekte	51
6	Gesichtete Journals und ausgewählte Studien	56
7	Forschungsbeiträge zu LCA und THG-Analysen	68

2 EU-Rechtsrahmen zur Bedeutung von ILUC

Die überarbeitete Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) der Europäischen Kommission sieht für die Zeit nach 2020 eine drastische Einschränkung der Verwendung von Biokraftstoffen aus Nahrungsmitteln, einschließlich Palmöl, vor (Directive 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 OJ L 328/82 - RED -). Die Richtlinie behält eine Begrenzung des Verbrauchs von aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen gewonnenen Biokraftstoffen und Biomasse-Brennstoffen im Verkehrssektor bei. Gleichzeitig wird durch die Einführung spezifischer nationaler Grenzwerte für den Gesamtbeitrag dieser Kraftstoffe das Ziel für Energie aus erneuerbaren Quellen, das die Union bis 2030 verwirklichen will, noch weiter gefestigt. Ebenso ist vorgesehen, dass die Mitgliedstaaten unter Berücksichtigung der indirekten Landnutzungsänderung (ILUC) eine Untergrenze für den Beitrag von Biokraftstoffen aus Ölpflanzen festlegen können.

Im Rahmen der Diskussion um die Richtlinie hat das Europäische Parlament gegen die Verwendung von Palmöl als Biodiesel-Rohstoff Stellung bezogen und festgestellt, dass der Verbrauch von Palmöl und daraus hergestellten Verarbeitungserzeugnissen eine wichtige Rolle bei den Auswirkungen des EU-Verbrauchs auf die weltweite Entwaldung spielt, und die Europäische Kommission aufgefordert, die Verwendung von Pflanzenölen, die die Entwaldung vorantreiben, einschließlich Palmöl, als Bestandteil von Biokraftstoffen auslaufen zu lassen.

Die im Dezember 2018 in Kraft getretene Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) der Europäischen Union (EU) sieht eine nationale Umsetzungsfrist bis zum 30.06.2021 vor. Mit ihr werden neue Ziele für erneuerbare Energien (mindestens 32% bis 2030 und der Verpflichtung der Kraftstoffanbieter auf 14% Mindestanteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor) sowie gezielte Maßnahmen für Bioenergie eingeführt, um [Treibhausgas- (THG-)] Emissionseinsparungen zu gewährleisten und unbeabsichtigte Umweltauswirkungen zu minimieren. Die Mitgliedstaaten haben auch die Möglichkeit, den Einsatz von pflanzlichen Rohstoffen, die zu kritischen indirekten Landnutzungsänderungen führen (dies sind vor allem Palmöl und Soja) vorzeitig vor 2030 auslaufen zu lassen. Ein Element der RED II ist die Obergrenze für den Biokraftstoffverbrauch im Verkehrssektor, die ein EU-Mitgliedstaat bei der Bewertung der Zielerreichung berücksichtigen kann, und damit zusammenhängend, die Ausrichtung auf Emissionen aus sogenannten indirekten Landnutzungsänderungen (ILUC) (European Commission, Memo 19/1656, 2019).

Gemäß RED II liegen indirekte Landnutzungsänderungen (ILUC) vor, wenn Flächen für die Biokraftstoffproduktion umgewidmet werden und dadurch die landwirtschaftliche Produktion auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand, wie Wälder oder Feuchtgebiete, verlagert wird. Bei RED II geht es darum, die daraus resultierende Freisetzung von CO₂ zu minimieren. Die EU hat damit ihre Besorgnis darüber zum Ausdruck gebracht, dass ILUC-bedingte Emissionen die Treibhausgaseinsparungen durch die Verwendung von Biokraftstoffen zunichtemachen könnten (European Commission, COM 142, 2019, 3- 4). Die RED II begrenzt die Möglichkeit der EU-Mitglieder, sogenannte "Kraftstoffe mit hohem ILUC-Risiko" in ihre Berechnungen der

Nutzung erneuerbarer Energien im Verkehrssektor einzubeziehen. Gemäß Artikel 26 (2), darf der Anteil von aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen gewonnenen Biokraftstoffen mit einem hohen ILUC-Risiko nicht über dem 2019 in dem betreffenden Mitgliedstaat verzeichneten Verbrauch solcher Kraftstoffe liegen, es sei denn, es handelt sich um zertifizierte Biokraftstoffe mit einem geringen ILUC-Risiko. Ab 31. Dezember 2023 sinkt dieser Grenzwert, bis spätestens 31. Dezember 2030, stufenweise auf 0 %.

Indonesien und Malaysia - die beiden größten Palmölproduzenten - haben vor dem Ausschuss für technische Handelshemmnisse der WTO Bedenken gegen RED II geäußert. Am 16. Dezember 2019 beantragte Indonesien Streitbeilegungskonsultationen mit der EU über diese und andere damit verbundene Maßnahmen (WTO Doc WT/DS593/1, 2019).

RED II sieht ein verbindliches EU-Ziel von 32% erneuerbarer Energie bis 2030 vor. Die einzelnen EU-Mitgliedstaaten sollen nationale Beiträge festlegen, um das verbindliche Unions-Gesamtziel zu erreichen. Diese auf Unionsebene festgelegte Zielvorgabe soll den Mitgliedstaaten mehr Flexibilität ermöglichen, um ihre Ziele für die Einsparung von Treibhausgasemissionen entsprechend ihren jeweiligen spezifischen Gegebenheiten, ihrem Energiemix und ihren Kapazitäten zur Produktion von erneuerbarer Energie auf die kostengünstigste Weise zu erreichen. In diesem Zusammenhang ist allerdings auch der Artikel 25 interessant. Dort werden die Mitgliedstaaten verpflichtet, den Mindestanteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors bis 2030 auf 14 % festzulegen. Jeder Mitgliedstaat sorgt dafür, dass die Kraftstoffanbieter diesen Mindestanteil als Zielwert ansehen.

Artikel 4 der RED II sieht vor, dass die Mitgliedstaaten zur Erreichung oder Überschreitung dieses Ziels (sowie des individuellen Ziels jedes Mitgliedstaats) Maßnahmen ergreifen können, um Anreize für die "Integration von Strom aus erneuerbaren Energiequellen in den Elektrizitätsmarkt auf marktorientierte und marktgerechte Weise zu schaffen und dabei unnötige Verzerrungen der Elektrizitätsmärkte zu vermeiden". In Konsequenz würde diese Möglichkeit bedeuten, dass bei einer Senkung der 14%-Verpflichtung, der Anteil Biokraftstoffe aus Anbaubiomasse zu senken wäre. Wenn dieses Szenario verfolgt werden sollte, müssten die Mitgliedstaaten an anderer Stelle mehr erneuerbare Energien (möglicherweise Strom) in den Energiemix einbringen, um das nationale Ziel zu erfüllen.

Darüber hinaus darf der Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen (gemessen am Bruttoendenergieverbrauch) der Mitglieder nach dem 1. Januar 2021 nicht unter bestimmte Mindestwerte fallen. Die Berechnung dieses Prozentsatzes basiert auf der Summe aus (i) dem Bruttoendenergieverbrauch von Strom aus erneuerbaren Quellen, (ii) dem Bruttoendenergieverbrauch von Energie aus erneuerbaren Quellen im Wärme- und Kältesektor und (iii) dem Endenergieverbrauch von Energie aus erneuerbaren Quellen im Verkehrssektor (vgl. RED II, Artikel 7 (1)).

Ebenso muss bei der Berechnung des Bruttoendenergieverbrauchs von Energie aus erneuerbaren Quellen in einem Mitgliedstaat der Anteil von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen oder Biomassebrennstoffen, die mit einem hohen Risiko indirekter Landnutzungsänderungen (ILUC) verbunden sind und aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen

hergestellt werden, bei denen eine signifikante Ausweitung der Produktionsfläche auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand beobachtet wird, unter dem Verbrauch solcher Brennstoffe in diesem Mitgliedstaat im Jahr 2019 liegen (es sei denn, diese Brennstoffe sind als Brennstoffe mit "geringem ILUC-Risiko" zertifiziert). Dieser Verbrauch muss ab Ende 2023 bis Ende 2030 auf 0% gesenkt werden.

RED II definiert "Biokraftstoffe, flüssige Biobrennstoffe und Kraftstoffe aus Biomasse mit geringem ILUC-Risiko" als

- Biokraft- und Brennstoffe, deren Ausgangsstoffe im Rahmen von Systemen erzeugt wurden, die Verdrängungseffekte von Biokraftstoffen auf der Basis von Lebens- und Futtermitteln vermeiden,
- Biokraft- und Brennstoffe, deren Ausgangsstoffe im Rahmen von Regelungen hergestellt wurden, die Verdrängungseffekte von Biokraftstoffen auf der Grundlage von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen sowie flüssigen Biobrennstoffen und Biomassekraftstoffen durch verbesserte landwirtschaftliche Praktiken sowie durch den Anbau von Pflanzen auf Flächen, die zuvor nicht für den Anbau von Pflanzen genutzt wurden, vermeiden, und
- die gemäß bestimmten Nachhaltigkeitskriterien hergestellt wurden, die in Artikel 29 der RED II für Biokraftstoffe, flüssige Biobrennstoffe und Biomassekraftstoffe festgelegt sind.

Zu diesen zahlreichen Kriterien gehört die Anforderung, dass die Einsparungen an Treibhausgasemissionen durch die Verwendung von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Kraftstoffen aus Biomasse entweder 50%, 60% oder 65% betragen müssen, je nach dem Alter der Anlage, in der der Kraftstoff hergestellt wird. Weitere Kriterien werden an anderer Stelle in diesem Artikel erläutert; alle Kriterien müssen jedoch erfüllt sein, bevor Energie aus Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen oder Biomasse als Beitrag zur Erreichung des Ziels der EU oder eines Mitgliedstaats für erneuerbare Energien gewertet werden kann.

ILUC-Verordnung (Delegierte Verordnung 2019/807)

Die ILUC-Verordnung ergänzt die RED II und "legt die Kriterien für die Bestimmung von Rohstoffen mit hohem ILUC-Risiko, bei denen eine erhebliche Ausweitung der Produktionsfläche auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand zu beobachten ist, und für die Zertifizierung von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Biomassekraftstoffen mit niedrigem ILUC-Risiko fest" (EU Commission, 2019).

Die in der ILUC-Verordnung zugrunde gelegte Methodik für diesen Zweck lautet wie folgt. Die kumulativen Kriterien sind, dass:

- die durchschnittliche jährliche Ausweitung der globalen Produktionsfläche des Rohstoffs seit 2008 mehr als 1% beträgt und mehr als 100.000 Hektar betrifft; und

-
- der Anteil dieser Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand höher als 10% ist, wobei eine in der ILUC-Verordnung festgelegte Formel gilt:

$$x_{hcs} = \frac{x_f + 2.6x_p}{PF}$$

x_{hcs} = Anteil der Expansion auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand;

x_f = Anteil der Ausdehnung in kontinuierlich bewaldete Gebiete und Gebiete mit einem bestimmten Baumbestand, wie in RED II definiert (siehe RED II, Artikel 29(4)(b) und 29(4)(c));

x_p = Anteil der Ausdehnung in Feuchtgebiete gemäß der Definition Artikel 29 (4) Buchstabe a der RED II;

PF = Produktivitätsfaktor, der für Mais mit 1,7, für Palmöl mit 2,5, für Zuckerrüben mit 3,2, für Zuckerrohr mit 2,2 und für alle anderen Kulturpflanzen mit 1 angegeben wird.

Die ILUC-Verordnung legt auch die Kriterien für die Zertifizierung von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Kraftstoffen aus Biomasse mit geringem ILUC-Risiko fest. Diese Kriterien bedeuten, dass für diese Kraftstoffe, die in Artikel 29 der RED II ausgearbeiteten Treibhausgas- und Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, nachgewiesen werden muss, dass sie durch den Einsatz von „Zusätzlichkeitsmaßnahmen“ hergestellt wurden.

„Zusätzlichkeitsmaßnahmen“ werden in der RED II definiert als "jede Verbesserung der landwirtschaftlichen Praktiken, die auf nachhaltige Weise zu einer Steigerung der Erträge von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen auf Flächen führt, die bereits für den Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen genutzt werden, sowie jede Maßnahme, die den Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen auf ungenutzten Flächen, einschließlich stillgelegter Flächen, zur Herstellung von Biokraftstoffen, flüssigen Biobrennstoffen und Biomassekraftstoffen ermöglicht". Ob ein Biokraftstoff als Kraftstoff mit geringem ILUC-Risiko zertifiziert werden kann, setzt außerdem voraus, dass die Zusätzlichkeitsmaßnahmen bestimmte Kriterien erfüllen. Die Zusätzlichkeitsmaßnahmen müssen "nicht länger als 10 Jahre vor der Zertifizierung der Biokraftstoffe, flüssigen Biobrennstoffe und Biomassekraftstoffe als Kraftstoffe mit geringem indirektem Landnutzungsänderungsrisiko" ergriffen werden und setzen voraus, dass ein finanzielles Hindernis überwunden wurde, das Land aufgegeben oder stark degradiert wurde oder die Kulturen von Kleinbauern angebaut wurden (vgl. RED II, Artikel 2 bzw. 5).

3 Sichtung der wissenschaftlichen Literatur zu Indirekten Landnutzungseffekten

Eine wesentliche Zielsetzung der vorliegenden Studie ist die systematische Erfassung indirekter Landnutzungsänderungen in den bedeutenden Ölsaaten produzierenden Ländern. Für die systematische Erfassung sollten im Rahmen eines Monitorings die aktuellen Entwicklungen der Landnutzung bewertet werden. Diese Bewertungen sollten auf der Grundlage von wissenschaftlichen Veröffentlichungen erfolgen, um auf diese Weise abgesicherte Erkenntnisse über die Landnutzungsänderungen zu erhalten. Wichtig dabei war es, die aktuell verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den Auswirkungen indirekter Landnutzungsänderungen im Ölsaatensektor, die sich seit dem Inkrafttreten der RED II - Richtlinie ergeben haben, für eine systematische Analyse zu erfassen und einzuordnen. Im Bericht der EU-Kommission (COM (2019) 142 final vom 13.3.2019) zum Stand der Ausdehnung der weltweiten Produktion einschlägiger Nahrungs- und Futtermittelpflanzen auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand gemäß der Definition der RED II (Annex 1 und 2) findet sich eine umfangreiche Literaturlauswertung des Gemeinsamen Forschungszentrums (JRC) der Kommission zu den diesbezüglichen relevantesten Ergebnissen der wissenschaftlichen Literatur. Die zum damaligen Zeitpunkt aktuell verwendete Literatur bezog sich auf einen Zeitraum bis zum Jahr 2018. Aufgabe der vorliegenden Studie ist es nun, diese Literaturlauswertung um die neuesten wissenschaftlichen Studien und Erkenntnissen fortzuschreiben.

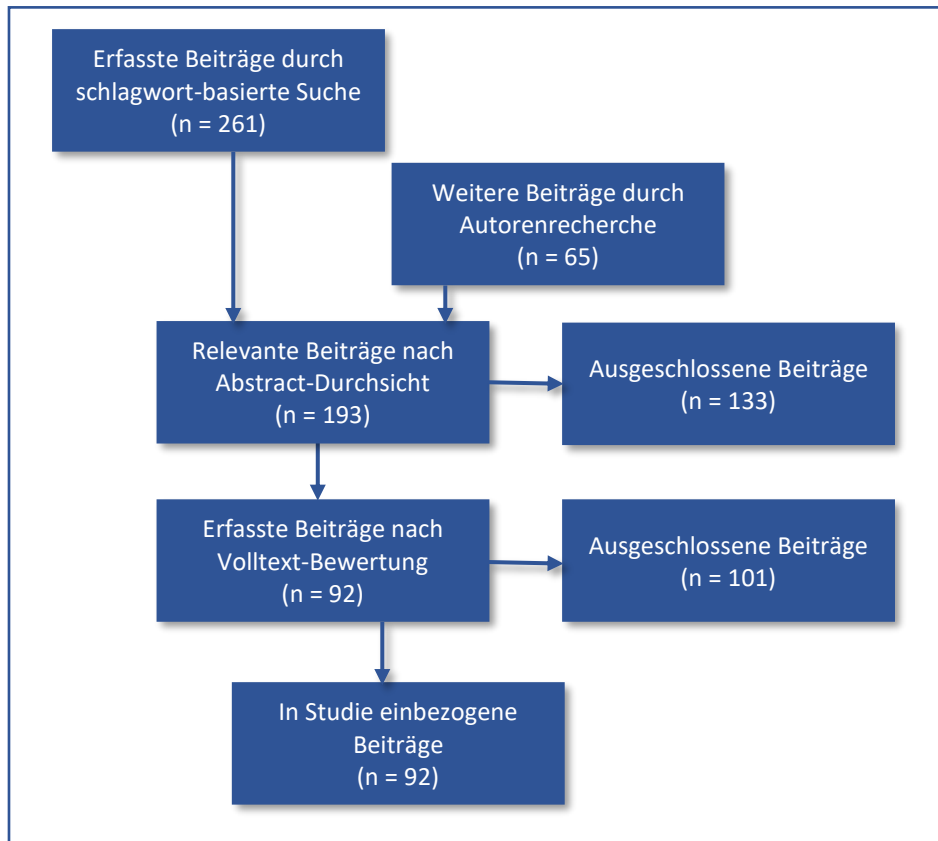
Um dieses Ziel zu erreichen, haben wir die themenbezogene Literatur der vergangenen 5 Jahre (2018 – 2022) als aktuelle Basis zugrunde gelegt. Mit Hilfe von tabellarischen Übersichten, die die wesentlichen Studien und Inhalte chronologisch wiedergeben, wird eine an den Kommissionsbericht anschlussfähige Fortschreibung der Entwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnisse im Sinne eines Monitorings konzeptionell und inhaltlich gewährleistet.

Wir haben für unsere Studie zunächst mit einer systematischen Durchsicht der in Frage kommenden Literaturquellen begonnen. Dabei wurde darauf geachtet, ausschließlich wissenschaftliche Zeitschriften zu sichten, deren Beiträge erst nach einem sogenannten single oder double blind-Begutachtungsverfahren veröffentlicht werden. Dadurch sind die Qualität und damit die Aussagekraft der Studien sichergestellt. Wir nutzten dabei verschiedene Suchfilter, um letztendlich zusammenhanglose Zeitschriften oder Beiträge wie etwa zu den Themen Biodiversität, Klimarelevanz, Geologie, Geographie, Hydrologie oder etwa anbautechnische Themen herauszufiltern. Diese Quellen wurden dann nicht weiter berücksichtigt. Damit haben wir uns zunächst auf die Themenschwerpunkte wie etwa LUCC oder ILUC konzentrieren können.

Diese Suche identifizierte insgesamt 261 wissenschaftliche Beiträge auf Basis der selektierten Schlüsselwörter. Zu dieser Auswahl kamen weitere 65 Beiträge hinzu, die auf verschiedenen Wegen im Laufe der Untersuchung einbezogen wurden. Aus der Gesamtzahl von 326 Artikeln wurden dann 133 Beiträge als nicht zielführend ausgesondert. Die verbliebenen 193 Artikel

wurden dann einer „Volltext“-Auswertung unterzogen, mit dem Ergebnis eines Ausschlusses von weiteren 101 Studien. Aus der verbliebenen Liste wurden dann 92 Publikationen als relevant für die Nutzung in der vorliegenden Studie herangezogen. Die folgende Übersicht 1 stellt das sequentielle Auswahlverfahren dar.

Übersicht 1: Zum Literatúrauswahlverfahren



3.1 Zur Messung von ILUC

Landnutzungsänderungen an sich lassen sich in der Regel gut beobachten und statistisch nachweisen. Komplexer wird die Erfassung von möglichen Veränderungen, wenn die Landnutzungseffekte durch verschiedene Maßnahmen indirekt ausgelöst werden, wie etwa durch politische Programme oder neue Technologien. In diesen Fällen können Landnutzungsänderungen ausgelöst durch direkte Interventionen an einem Standort (in einer Region) Auswirkungen auf die Landnutzung an einem anderen Standort (in einer anderen Region) haben. In diesem Zusammenhang wird auch von den sogenannten Leakage-Effekten gesprochen, einer Form von Spillover-Effekten, die eine Interventionspolitik an einem Ort auslöst und zu negativen Effekten an anderer Stelle führen – dadurch können mögliche erwartete positive Gesamteffekte verringert werden und die Effektivität der Intervention kann an andere Stelle vermindert werden.

Laut Meyfroidt et al. (2013), ist Leakage als ein Verdrängungseffekt durch die Art der Landnutzung zu verstehen, bei der eine Interventionspolitik zur Reduzierung von negativen Umwelteffekten einer gegebenen Landnutzung zu einer Verlagerung der negativen Landnutzungseffekte an einem anderen Standort führt. Es liegen zahlreiche Untersuchungen zu den Auslöseeffekten von Landnutzungsänderungen im Sinne von ILUC, Leakage oder auch Spillover-Effekten vor (siehe hierzu stellvertretend Meyfroidt et al., 2013 und 2020; Hertel, 2019; Bastos Lima, 2019). An dieser grundsätzlichen Diskussion der Auslöseeffekte kann sich im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt werden. Wir haben in den wissenschaftlichen Beiträgen nach explizit genannten ILUC-Effekten sondiert und diese dann für unsere Auswertungen zugrunde gelegt. In den letzten Jahren sind vermehrt wissenschaftliche Arbeiten über die direkten und insbesondere indirekten Auslöseeffekte einer politischen Maßnahme und die damit verbundenen unbeabsichtigten und häufig in räumlich weit entfernten Regionen auftretenden Konsequenzen einer Umweltpolitik oder sich wandelnder Verbrauchsmuster, entstanden.

Exkurs:

In diesem Kontext sei auch auf folgenden kausalen Zusammenhang hingewiesen: die theoretischen Grundlagen indirekter Landnutzungsänderungen beschreiben mögliche Substitutionseffekte, wenn durch den Bedarf an Rohstoffen für die Biokraftstoffproduktion eine Verlagerung der Nahrungs- und Futtermittelproduktion auf bislang ungenutzte Flächen stattfindet. Die dadurch indirekt entstehenden Treibhausgasemissionen wären dann der Biokraftstoffproduktion in Form eines Treibhausgasaufschlages (ILUC-Wert, -Malus oder -Faktor) anzurechnen. Diese Einbeziehung von ILUC-Werten in die Treibhausgasbilanzierung von Biokraftstoffen ist jedoch aus verschiedenen Gründen umstritten. Die Fokussierung dieser Betrachtung auf den Biokraftstoffbereich hat allerdings auch mögliche weitere Ursachen für ILUC bisher ungenügend berücksichtigt. So sind die Wirkungen, die eine Reduktion der Flächennutzung und der Flächenproduktivität auf hochproduktive Flächen der EU auf indirekte Landnutzungseffekte haben könnten, bisher nur am Rande thematisiert, aber nicht ausdrücklich untersucht worden. So beinhalten die Zielsetzungen der EU Farm-to-Fork Strategie eine erhebliche Reduzierung und Einschränkung des Einsatzes ertragsteigernder und –stabilisierender Düngemittel- und Pflanzenschutzmittel, ebenso wie die erhebliche Ausdehnung des Ökoanbaus. Es ist zu erwarten, dass alle drei Maßnahmen zu Ertragsrückgängen an vermarktbareren Erzeugnissen führen. Unter der Bedingung eines konstanten Lebensmittelkonsumniveaus in der EU, müssten die dann hier nicht mehr produzierten Lebensmittel in anderen Regionen erzeugt werden. Als Konsequenz würden dadurch indirekte Landnutzungsänderungen anderswo induziert werden. Die Durchsicht der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zu diesbezüglichen indirekten Landnutzungsänderungen hat zu keinem „Treffer“ geführt.

Im folgenden Abschnitt der Analyse wird die aktuelle wissenschaftliche Studienlage zu den Landnutzungseffekten, zum Umfang der Produktionsausdehnung und zur Diskussionen über die Auslöseeffekte, differenziert für die einzelnen Ölsaaten und die jeweiligen Anbauregionen, dargelegt.

3.2 Aktuelle Entwicklungstendenzen indirekter Landnutzung

3.2.1 Sojaproduktion

Die Untersuchung beginnt mit der jüngsten Entwicklung der Flächennutzung im wichtigsten relevanten Sojaproduktionsland Brasilien. Die Grundlage für die hier dargelegten Ausführungen sind die neuesten Ergebnisse der aktuellen wissenschaftlichen Veröffentlichungen, die in dieser Studie berücksichtigt werden.

Brasilien

Die Sojaproduktion nimmt aktuell ca. 38% der brasilianischen Anbaufläche ein. Der größte Teil der Sojaproduktion in Brasilien findet auf bereits bestehenden landwirtschaftlichen Flächen statt. Allerdings findet eine erhebliche Ausdehnung der Anbaugelände in den sensiblen Regionen des Amazonasgebietes und des Cerrados statt. Sowohl die Weide- als auch die Anbauflächen für Sojabohnen haben sich stetig ausgedehnt, was sich sowohl als direkte als auch indirekte Landnutzungsänderungen von bisherigen Waldflächen und sonstig genutzten Flächen bezeichnen lässt. Die Ausdehnung der Sojaproduktion hat die brasilianische Landschaft in jedem Fall in den letzten Jahren stark verändert (Zu Ermgassen et al., 2020).

Seit dem Jahr 2000 hat sich die Anbaufläche für Soja in Brasilien auf 34 Mio ha nahezu verdoppelt (IBGE, 2017). Diese Ausdehnung gilt als ein wichtiger direkter und indirekter Faktor für den Verlust von Wäldern und anderer natürlicher Vegetation - mit erheblichen regionalen Unterschieden. Seit einem Höhepunkt in den späten 2000er Jahren ist die unmittelbare Abholzung der einheimischen Vegetation zugunsten des Sojaanbaus im Amazonasgebiet und in den älteren Sojaanbaugeländen im Cerrado - insbesondere im Bundesstaat Mato Grosso - zurückgegangen. In der Matopiba-Region des Cerrado (bestehend aus den Bundesstaaten Maranhão, Tocantins, Piauí und Bahia; Teil des Cerrado), wo in den letzten zehn Jahren jährlich 0,5 bis 0,8 Mio. Hektar Soja auf kürzlich umgewandelten Flächen angepflanzt wurden, ist der Sojaanbau jedoch nach wie vor ein Hauptfaktor für den Verlust von biogenen Lebensräumen. Fast die Hälfte des Cerrado wurde in Weideland (29,5%) oder Ackerland (11,7%) umgewandelt (Noojipady et al., 2017). Die Ausbreitung von Soja in der Matopiba-Region erfolgte zu etwa 62% auf Waldflächen (hauptsächlich im Cerrado). In allen anderen Staaten lag der Anteil bei etwa 11% (einschließlich Amazonas und Atlantischer Wald). Auf Matopiba entfielen etwa 12% der gesamten Sojaproduktion in Brasilien (Erntesaison 2016/2017), während alle anderen Bundesstaaten zusammen 88% beitrugen. Der größte Teil der jüngsten Expansion fand im Bundesstaat Mato Grosso statt (einschließlich der Gebiete im sogenannten "Amazonas-Abholzungsbogen").

Die Entwaldung des Amazonas ist komplex. Darauf haben Barona et al. bereits im Jahr 2010 mit ihrer Arbeit hingewiesen als sie die Rolle von Weideflächen und Sojabohnenanbauflächen bei der Entwaldung des Amazonasgebiets zwischen 2000 und 2006 bewerteten. Sie kamen zu dem Schluss, dass die unmittelbare Ursache der Entwaldung im legalen Amazonasgebiet in

erster Linie die Ausdehnung von Weideland und nicht von Sojabohnen war. So kam es zum Beispiel im Mato Grosso-Gebiet zu einer Zunahme des Sojabohnenanbaus in Regionen, die zuvor als Weideland genutzt wurden, wodurch Weideflächen weiter nach Norden in die bewaldeten Gebiete verdrängt worden sind. Diese Entwicklung der Entwaldung wird von ihnen auch als eine indirekte Landnutzungsänderung bezeichnet.

Die Entwaldung des Cerrado wird als ein großes Problem angesehen. Auf der Grundlage eines gewichteten Durchschnitts der Sojaproduktion in diesen Regionen schätzten die Autoren bereits früh, dass sich rund 17% der brasilianischen Sojaanbaufläche in den letzten Jahren auf Waldgebiete ausgedehnt hat.

Jüngste Untersuchungen zur eigentlichen Ursache der Flächenausdehnung haben ergeben (vgl. Arvor et al., 2017), dass die chinesischen Zölle auf US-Sojabohnenexporte die Marktpreise für Sojabohnen aus anderen Ländern als den USA effektiv um 4-5% "subventioniert" haben (vgl. auch Taheripour/Tyner, 2018). Diese Subvention hat ausländischen Erzeugern, insbesondere dem brasilianischen Sojasektor, zusätzliches Investitionskapital und Anreize für die Rodung von Anbauflächen verschafft. In Brasilien, wo die Sojabohnenanbaufläche nachweislich besonders empfindlich auf Preisänderungen reagiert, hat die Einführung der Zölle die Landnutzungsänderung beschleunigt. Von 2007 bis 2016 hat sich die brasilianische Sojaanbaufläche um etwa 1,259 Mio. Hektar pro Jahr ausgeweitet, davon 214.000 ha pro Jahr auf bisher als natürliche Vegetation bezeichnete Flächen. Die Ausdehnung der Sojaanbaufläche erfolgte auf Flächen mit einem durchschnittlichen Kohlenstoffbestand, der dem von Tropenwäldern ähnelt.

Die Waldbedeckung in Brasilien geht jedoch über das Amazonas-Biom (biogener Lebensraum) hinaus, und die rasche Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion in anderen bewaldeten Regionen könnte einen Teil des Klimanutzens der jüngsten Verringerung der Entwaldung im Amazonasgebiet zunichtemachen. Der Erfolg der REDD+-Bemühungen (Reduce Emissions from Deforestation and Forest Degradation) hängt daher von einer vollständigen nationalen Erfassung der Veränderungen der Waldbedeckung ab, einschließlich der Emissionen aus der Waldumwandlung im Cerrado.

Für eine weitere Region in Südamerika, die durch trockenen Tropenwald und Savannen gekennzeichnet ist, haben Fehlenberg et al. (2017) die Landnutzungsveränderungen in den Jahren 2000-2012 untersucht. Mit Hilfe von Regressionsmodellen haben sie die Auslöser für die Nutzungsänderungen in der Region Chaco (einem Grenzgebiet zwischen Argentinien, Bolivien und Paraguay) versucht zu identifizieren. Sie sind der Frage nachgegangen, wie stark der Sojaanbau und die Weidewirtschaft auf die Entwaldung in der Region gewirkt haben. In der 110 Mio ha großen Region sind in dem Untersuchungszeitraum ca. 8 Mio ha Fläche entwaldet worden. Die Untersuchung zeigt, dass die Sojaproduktion ein direkter Treiber der Entwicklung ist (mit 0,08 ha neuer Sojaanbaufläche pro ha Waldverlust). Die Weidewirtschaft in allen drei an die Region angrenzenden Ländern ist mit 0,02 ha zusätzlicher Weidefläche pro ha Waldverlust verantwortlich. Die Modellberechnungen zeigen auch, dass der Sojaanbau in Argentinien indirekt den Waldverlust in den Nachbarländern Bolivien und Paraguay befördert.

Soja Moratorium

In den 1990er und 2000er Jahren nahm der Sojaanbau stark zu, insbesondere in den Bundesstaaten im mittleren Westen Brasiliens. Um die Entwaldung einzudämmen, führte die brasilianische Bundesregierung eine Kontrollpolitik ein, und gleichzeitig setzten Sojakäufer und Organisationen der Zivilgesellschaft 2008 und 2014 das Soja-Moratorium (vgl. Taheripour/Tyner, 2018) insbesondere für das Cerrado-Gebiet um. Auf internationaler Ebene wurden mehrere Initiativen zur Einführung eines verbesserten umweltfreundlichen Landwirtschaftsmodells eingerichtet und gefördert (z. B. "Amazon Fund" mit norwegischem Engagement (Nepstad et al., 2019), auf brasilianischer Bundesebene der Plan für eine kohlenstoffarme Landwirtschaft durch das Ministerio da Agricultura (2012) oder die Einführung effizienter Überwachungs- und Genehmigungssysteme, auf Ebene der Bundesstaaten (z. B. Soja- und Rindfleischmoratorium) und auf lokaler Ebene (z. B. Lucas Legal und SorrisoVivo-Projekte)). Zusätzlich zu diesen Aktivitäten wurden Zero Deforestation Commitments (ZDCs) umgesetzt. Dabei handelt es sich um freiwillige Initiativen, bei denen sich Unternehmen oder Bundesstaaten verpflichten, Produkte, die ursächlich auf die Abholzung von Wäldern zurückgehen, aus ihren Lieferketten zu verbannen. Diese Verpflichtungen sind vielversprechend für eine nachhaltige Rohstoffproduktion, werden aber durch einen Mangel an Transparenz in Bezug auf ihren Geltungsbereich und ihre Auswirkungen unterminiert. Studien zeigen, dass der Erfassungsbereich von ZDC zwar zunimmt, aber die Cerrado-Region, in der die umfangreichsten Abholzungen zugunsten des Sojaanbaus stattfanden, nicht ausreichend berücksichtigt wird (Zu Ermgassen et al., 2020).

Während die Abholzungsraten im Amazonasgebiet in den letzten zehn Jahren durch eine strenge Umweltpolitik deutlich eingedämmt werden konnten, sind die Raten der Vegetationsveränderung im benachbarten Cerrado-Biom immer noch 2,5 Mal höher als im Amazonasgebiet (Nepstad et al., 2019). Frühere Arbeiten haben gezeigt, dass die Savanne des Cerrado ein wichtiger Hebel für die Stabilisierung des Klimas, die Erhaltung der biologischen Vielfalt und die Bereitstellung wichtiger Ökosystemdienste, wie etwa die Wasserregulierung ist. Bemerkenswert ist allerdings, dass das Matopiba-Gebiet (bestehend aus den Bundesstaaten Maranhão, Tocantins, Piauí und Bahia), die brasilianische Region ist, in der sich der Sojaanbau rasch ausbreitet und einen großen Teil der ursprünglichen Cerrado-Vegetation nun für sich beansprucht.

Die Ergebnisse mehrerer Studien (Taheripour/Tyner, 2018; Nepstad et al., 2019; Amaral et al., 2020; Zalessa et al., 2019) bestätigen den direkten Zusammenhang zwischen Sojaanbau und Entwaldung im Amazonas-Biom. Eine Verringerung der Entwaldungsraten in diesem Lebensraum ist dann zu beobachten, wenn der Umfang des Sojaanbaus in den betreffenden Gebieten nicht ausgeweitet wird. Seit 2008, als das Soja-Moratorium ins Leben gerufen wurde, kam es allerdings immer wieder zu einer Entkopplung des Sojaanbaus von der Entwaldung. Die Regierungsprogramme zur Verringerung der Entwaldung schufen daher ein neues Umfeld für die landwirtschaftliche Expansion im Einklang mit den brasilianischen Gesetzen und Umweltverpflichtungen. Das Soja-Moratorium verstärkte diese neue Ordnung, und die mit dem Sojaanbau verbundenen Produktionsketten wurden zunehmend Gegenstand der

öffentlichen und privaten Good Governance. Diese öffentlichen und privaten Auswirkungen zeigen, wie wichtig koordinierte Maßnahmen sind, um effiziente Ergebnisse zu erzielen, insbesondere in einer großen, sozial und ökologisch komplexen Region, wie dem brasilianischen Amazonasgebiet. Während anfangs die Sojabohnenanbaufläche in neu entwaldeten Gebieten zunahm, änderten öffentliche und private Maßnahmen diesen Wachstumsverlauf in den Folgejahren erheblich. Der Rückgang der Entwaldungsraten und die strenge Kontrolle der Nutzung neuer Flächen, die mit einem hohen Risiko von Embargos und Geldstrafen verbunden ist, sind zu Hindernissen für eine investitionsintensive Kultur geworden.

Die konkreten Folgen und die Landnutzungskonsequenzen aus dem Soja-Moratorium werden nach wie vor durchaus unterschiedlich bewertet. So zeigen verschiedene Untersuchungen (s. hierzu stellvertretend Nepstad et al., 2019), dass das Moratorium den Sojaanbau als direkte Ursache für die Entwaldung im Amazonasgebiet zurückgedrängt hat. So schätzen Busch und Engelmann (2018), dass ohne die Politikmaßnahme der Waldverlust im Amazonasgebiet in dem Zeitraum von 2005 – 2012 um 86% höher gewesen wäre. Anstatt 14,3 Mio ha hätte man wohl eher mit einem Verlust von 26,7 Mio ha rechnen müssen. Der Waldverlust durch die Ausweitung des Sojaanbaus konnte auf weniger als 1% reduziert werden, obwohl die Statistik die indirekten Beiträge von Soja zum Waldverlust nicht berücksichtigt (Nepstad et al., 2019). In den Jahren nach der Einführung des Sojamoratoriums (2008-2014) wurden 40% der neuen Sojaanbauflächen im Cerrado durch einheimische Vegetation ersetzt, und allein in Matopiba verdoppelte sich die Sojafläche. Von der verbleibenden Cerrado-Vegetation befinden sich 89% auf Flächen, die für die Sojaproduktion geeignet sind, und 40% dieser geeigneten Flächen dürfen nach dem Forstgesetz legal gerodet werden. Schätzungen (Nepstad et al., 2019) zufolge umfasste das Cerrado-Weideland im Jahr 2008 etwa 58,9 Mio ha, von denen 54% (31,9 Mio ha) für Sojabohnen geeignet waren. Unabhängig davon wird aber auch angeführt, dass ein Cerrado-Soja-Moratorium wenig dazu beiträgt, den Wettbewerb um die Verwendung gerodeter Produktionsflächen zwischen Weidenutzung zur Rindfleischproduktion und der Nutzung zum Sojabohnenanbau zu entspannen.

Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt auch jüngst Paim (2021) in ihrer Untersuchung. Auch sie bestätigt, dass das Sojamoratorium in Kombination mit der staatlichen „conservation policy“ zu einem Rückgang der direkten Umwandlung von Regenwald in die Soja-Landnutzung geführt hat. Aus ihrer Sicht ist das Soja-Moratorium noch kein perfektes Instrument gegen den Entwaldungstrend, wird aber von ihr als ein wichtiges Element neben weiteren Initiativen (wie zum Beispiel der Runde Tisch für verantwortungsbewusstes Soja (TRS) von 2018 mit der Festlegung von Standards für die nachhaltige Produktion von Soja) zur Problemlösung angesehen. In einer weiteren aktuellen Studie von Villora et al. (2022) zeigen die Autoren, dass auch eine nicht perfekte Umsetzung des Amazonas Soja Moratoriums, einen wichtigen Beitrag leisten zu einer Reduktion der Abholzungsraten. So konnten sie feststellen, dass das Moratorium zumindest zu einer Verminderung des Abholzungsumfangs geführt hat. Im Amazonas- und Cerrado-Gebiet lag die Abholzung bei noch 238.000 ha. Das sind nur noch 23% gegenüber den 847.000 ha Soja-Umwandlungsfläche, die in dem Zeitraum von 2011-2016 gemessen wurde.

Aber nicht nur in Brasilien, sondern auch in Paraguay hat sich durch Schutzmaßnahmen das Abholzungsniveau von schützenswerten Waldflächen verringert. Nach Untersuchungen von Da Ponte et al. (2017) hat sich die Entwaldung innerhalb von Schutzgebieten von 2003 bis 2013 gegenüber nicht geschützten Regionen verringert. So ist der durchschnittliche jährliche Flächenverlust in den Schutzgebieten mit ca. -3,3% (60 km²) sechsmal geringer als außerhalb der Schutzzonen (-18%).

3.2.2 Palmölproduktion

Malaysia und Indonesien produzieren 84% des weltweiten Palmöls. Die Entwicklung in beiden Ländern wird deshalb stellvertretend für die weltweite Produktionssituation in der vorliegenden Arbeit angesehen.

Der Bestand an Primärwäldern in Asien ist durch das Bevölkerungswachstum, die damit einhergehende die Verstädterung ländlicher Regionen und die Umwandlung Landflächen in landwirtschaftliche Plantagen, wie die Palmölproduktion und andere Landnutzungen, vielfältig bedroht. In Südostasien hat die Verbreitung von Ölpalmen in den letzten zwei Jahrzehnten einen Boom erlebt, mit der Konsequenz eines Rückgangs der Tropenwaldflächen. Besonders ausgeprägt ist dieser Wandel in Borneo zu beobachten, wo geschützte Gebiete zunehmend für die Palmölproduktion erschlossen und bereits abgeholzte Flächen in industrielle Plantagen umgewandelt wurden. Die Hauptbedenken im Zusammenhang mit diesem Muster der Landnutzungsänderung sind die kurz- und langfristigen Auswirkungen der Abholzung auf die natürliche Umwelt und die Ökosysteme sowie die Frage, wie die Abholzungsmuster zu globalen Umweltproblemen wie dem Klimawandel beitragen. Durch die Erfassung und Kartierung von Abholzungsaktivitäten sind die staatlichen Institutionen besser in der Lage, die Veränderungen der Bodenbedeckung in einer bestimmten Region infolge von Erschließung und Entwaldung vorherzusagen.

Der Gesamtbeitrag der Ölpalmenexpansion zur Entwaldung wird sehr unterschiedlich beurteilt und hängt zum Teil vom Erfassungsbereich (zeitlich, räumlich) und den die Veränderung dokumentierenden Erfassungsmethoden ab (siehe hierzu im Besonderen Meijaard et al., 2020), die insgesamt 23 Studien zu Landnutzungsänderungen durch den Ölpalmenanbau untersucht haben.

In ihrer Studie führen sie dazu Folgendes aus: Die Verwirklichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals - SDGs) erfordert ein Gleichgewicht zwischen dem Flächenbedarf der Landwirtschaft (SDG 2) und der biologischen Vielfalt (SDG 15). Die Produktion von Pflanzenölen und insbesondere von Palmöl veranschaulicht diese konkurrierenden Ansprüche und Zielkonflikte. Palmöl deckt ca. 40% des derzeitigen weltweiten Jahresbedarfs an Pflanzenöl als Nahrungsmittel, Tierfutter und Brennstoff (210 Mio. t), allerdings beträgt die Anbaufläche für Ölpalmen weniger als 5 - 5,5% der gesamten weltweiten Ölanbaufläche (ca. 425 Mio ha). Dieses Verhältnis ist auf die relativ hohen Erträge von Ölpalmen zurückzuführen. Die jüngste Ausdehnung des Ölpalmenanbaus in den

bewaldeten Regionen von Borneo, Sumatra und der Malaiischen Halbinsel, wo mehr als 90% des weltweiten Palmöls produziert wird, hat zu erheblichen Bedenken hinsichtlich der Rolle der Ölpalme bei der Entwaldung geführt. Der direkte Beitrag der Anbauexpansion von Ölpalmen an der regionalen Abholzung der Tropenwälder ist, weltweit gesehen, sehr unterschiedlich und reicht von geschätzten 3% in Westafrika bis zu 50% auf der malaysischen Halbinsel Borneo. Ölpalmen sind auch an der Trockenlegung von Feuchtgebieten und der Verbrennung von Torfmoorflächen in Südostasien beteiligt. Zu den dokumentierten negativen Umweltauswirkungen einer solchen Expansion gehören der Rückgang der biologischen Vielfalt, Treibhausgasemissionen und Luftverschmutzung. Allerdings produziert die Ölpalme im Allgemeinen mehr Öl pro Fläche als andere Ölpflanzen, ist oft an Standorten wirtschaftlich rentabel, die für die meisten anderen Kulturen ungeeignet sind, und verschafft zumindest einigen Akteuren erheblichen Wohlstand. Die weltweite Nachfrage nach Pflanzenölen wird bis 2050 voraussichtlich um 46% steigen. Die Befriedigung dieser Nachfrage durch eine weitere Ausdehnung des Ölpalmenanbaus im Vergleich zu anderen Pflanzenölkulturen wird erhebliche unterschiedliche Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, die Ernährungssicherheit, den Klimawandel, die Bodendegradation und die Lebensgrundlagen haben. Verschiedene Studien heben hervor, dass es zwar nach wie vor erhebliche Lücken im Verständnis der Beziehung zwischen den ökologischen, soziokulturellen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Palmölproduktion und dem Anbauumfang gibt. Auch sind die Auswirkungen der Palmölproduktion und mögliche Substitutionsbeziehungen zu weiteren ölhaltigen Energiepflanzen noch nicht ausreichend erforscht, so dass auch Bewertungen der „besten“ Landnutzung auf globaler Ebene noch fehlen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Zhang und Su (2020) in ihren Untersuchungen der Abholzungsaktivitäten in den asiatischen Küstenregionen Thailand, Indonesien, Vietnam und Malaysia. So ist in den untersuchten Regionen die landwirtschaftliche Nutzfläche in den vergangenen dreißig Jahren (1988-2018) von 29,8% auf 40,9% angestiegen, was insbesondere auf die Expansion des Ölpalm-Plantagenanbaus zurückzuführen ist.

Die Ausweitung des Ölpalmenanbaus hat erhebliche negative Auswirkungen auf die Umwelt und führt in einigen Regionen weiterhin zur Abholzung von Wäldern. Dennoch trägt die Ölpalme zur wirtschaftlichen Entwicklung in den Anbauregionen bei und kann zumindest mit einigen Naturschutzziele vereinbar sein, insbesondere im Vergleich zu anderen Ölpflanzen. Das Wissen über Ölpalmen und die umstrittenen Wechselwirkungen zwischen den ökologischen, soziokulturellen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Kulturpflanze sowie über den Umfang, die Strenge und die Wirksamkeit von Governance-Initiativen zu deren Bewältigung, sind noch lückenhaft, worauf auch die EU-Kommission (EU-Commission 2019) verweist. Keines dieser Probleme und Zielkonflikte ist einzigartig für Ölpalmen: Sie gelten auch für andere Pflanzenölpflanzen (Meijaard et al., 2020; Scaramuzza et al., 2017) sowie für andere landwirtschaftliche Produkte (Kim et al., 2017). Tatsächlich haben alle Landnutzungen, und nicht nur die in den Tropen, Auswirkungen auf die Umwelt (Nicolau et al., 2019), die entweder verhindert oder verbessert werden können (Jaime et al., 2018). Der Druck auf die Palmölindustrie hat jedoch offenbar dazu geführt, dass die Auswirkungen der Palmölproduktion im Vergleich zu anderen Ölen stärker erforscht werden. In einer Welt mit

endlichen Flächen und wachsenden Ansprüchen müssen die globale Nachfrage nach Nahrungsmitteln, Kraftstoffen und industriellen Anwendungen mit den Zielen des Umweltschutzes in Einklang gebracht werden. Die hohen Palmölerträge bedeuten eine im Vergleich zu anderen Ölpflanzen höhere Flächenproduktivität zur Deckung des weltweiten Ölbedarfs. Um jedoch die Gesamtauswirkungen von Pflanzenölpflanzen zu minimieren, müssen ihre bisherige, aktuelle und prognostizierte Verteilung und ihre Auswirkungen bewertet und ihre Erträge, ihr globaler Handel und ihre Verwendungszwecke überprüft werden. Diese Informationen werden benötigt, um eine bessere Planung und Steuerung der Flächennutzung für alle Ölpflanzen zu ermöglichen, die Risiken und Chancen mit den lokalen Bedingungen und Realitäten in Einklang zu bringen und die gleichzeitige Umsetzung der SDGs zu optimieren.

Indonesien

Die größten Flächennutzungen der indonesischen Ölpalmenplantagen befinden sich auf den Inseln Sumatra und Kalimantan. Kalimantan ist seit dem Jahr 2000 ein besonders schnelles Wachstum von Ölpalmenplantagen zu beobachten. Für Indonesien gilt insgesamt, dass das gesamte Ausmaß dieses Wachstums und insbesondere der Anteil der Entwaldungsflächen daran nur annähernd geschätzt werden kann. Dabei liegen – wie zu zeigen sein wird – die Schätzungen häufig weit auseinander.

In Indonesien ist der (oft illegale) Holzeinschlag die Hauptursache für die Entwaldung und nicht die Ausweitung von Ölpalmlantagen. Diese Form der Landnutzungsänderung und der einhergehende Verlust an Biomasse ist primär durch den Holzeinschlag verursacht – die Anlage von Ölpalmlantagen auf zuvor bewaldeten Flächen nach dem Holzeinschlag ist als Nachfolgenutzung zu betrachten. Nach Austin et al. (2017) schwankte die Ausdehnung des Ölpalmenanbaus auf Waldflächen in Indonesien in den letzten Jahren zwischen etwa 18 und 63%. Nimmt man einen Durchschnittswert für die Umwandlung von etwa 30% an, so war vom Großteil der Landnutzungsänderungen (ca. 95%) vornehmlich der Sekundärwald und zu ca. 5,1% der Primärwald betroffen.

Um abzuschätzen, inwieweit einzelne Länder über ihre Verflechtung in internationale Lieferketten letztlich vom Palmöl abhängig sind und inwieweit dadurch in den Produzentenländern Landnutzungsänderungen ausgelöst werden, schätzten Shigetomi et al. (2020) die Größe der in Ölpalmlantagen umgewandelten Flächen, anhand der Originaldaten von Austin et al. (2017). Sie nutzten für ihre Untersuchung eine großflächige Kartographierung der Ölpalmlantagen mit Hilfe von Satellitenaufnahmen in den wichtigsten Regionen Indonesiens (Sumatra, Kalimantan und Papua) in Fünfjahresintervallen zwischen 1995 und 2015. Der rasante Anstieg der internationalen Nachfrage nach Palmöl hat in den Erzeugerländern zum Ausbau der Ölpalmlantagen geführt, mit der Konsequenz häufig negativer Umweltauswirkungen. In ihrer Studie werden die komplexen Zusammenhänge zwischen Palmölverbrauch und Palmölproduktion und Umweltwirkung für verschiedene indonesische Palmöl-Lieferketten unter anderem für einen dreizehnjährigen Zeitraum (2000 – 2013) untersucht. Globale Warenflüsse von Palmöl wurden mit Hilfe von Input-Output-

Beziehungen erstellt. Die Studie konnte den deutlichen Zusammenhang zwischen Palmölverbrauch entlang der Lieferketten und den damit verbundenen Landnutzungsänderungen durch den Ausbau von Palmölplantagen herausarbeiten. Ihrer Interpretation der Ergebnisse nach, haben die Verbräuche von Palmöl in Indien, China, Westeuropa, in den Vereinigten Staaten und in Japan den größten Anteil an der Verwendung der Palmölproduktion aus Indonesien.

In der Studie von Sharma et al. (2019) werden fünf primäre Ökosystemdienstleistungen der natürlichen Vegetation erarbeitet und diese in Bezug auf einen weiteren Ausbau der Ölpalmpflanzungen für die Regionen Westkalimantan und Indonesien, analysiert. Dafür wurden drei, als plausibel bezeichnete, Zukunftsszenarien des Ölpalmanbaus bewertet:

- (1) "business as usual",
- (2) Erhaltung und
- (3) nachhaltige Intensivierung.

Ausgangsgrundlage war die aktuelle Landnutzungspolitik und Raumplanung sowie eine auf Basis der bisherigen Entwicklung prognostizierte Ausdehnung Ölpalmproduktion. Als Analysewerkzeug zur Abbildung der räumlichen Landnutzungsveränderungen wurde das geographische Informationsverfahren ArcGIS eingesetzt und für die Beurteilung von Ökosystemleistungen wurde das sogenannte Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs Tool (InVEST Tool) verwendet. Damit konnten sowohl historische und als auch zukünftige Landnutzungsänderungen, die Bewertung und die Trade-offs von Ökosystemleistungen und Palmölproduktion analysiert werden. Die als Szenario (3) bezeichnete nachhaltige Intensivierung wirkt sich positiv auf die Kohlenstoff- und die Wasserspeicherung aus, obwohl auch durch diese Form der Landnutzung die biogene Lebensraumqualität gegenüber der Ausgangslage abnimmt. Dieses Szenario der nachhaltigen Intensivierung bietet allerdings eine Kompromisslösung für die künftige Ausdehnung des Ölpalmanbaus an, indem es die Bereitstellung von Ökosystemleistungen gewährleistet, die mit dem Szenario der Erhaltung vergleichbar sind, ohne jedoch den Palmölertrag im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario wesentlich zu beeinträchtigen.

Diese Wirkungsanalysen zukünftiger Landnutzungsszenarien zeigen die Auswirkungen der Nachhaltigkeit von mehreren Ökosystemleistungen auf. Das Business-as-usual-Szenario führt zu negativen Auswirkungen auf die Ökosystemleistungen aufgrund der intensiven Ausdehnung der Ölpalmpflanzungen, insbesondere auf Gebiete mit altem und nachwachsendem Wald. Geht man von der geringsten Intensität der Ölpalmenexpansion aus, verbessert das Erhaltungs-Szenario die Kohlenstoffspeicherung und führt zu einer stabilen Lebensraumqualität im Vergleich zur gegenwärtigen Landnutzung (Bezug zum Jahr 2016). Das Szenario der nachhaltigen Intensivierung, bei dem Ölpalmen nur auf geeigneten Flächen angebaut werden und der Pflanzenertrag verbessert wird, wirkt sich positiv auf die Kohlenstoff- und Wasserspeicherung aus, während die Lebensraumqualität im Untersuchungsgebiet nur leicht verringert wird.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass das Szenario der nachhaltigen Intensivierung eine Kompromisslösung für die künftige Ausweitung des Ölpalmenanbaus darstellt, da es ein mit dem Erhaltungsszenario vergleichbares Angebot an Ökosystemleistungen gewährleistet, ohne den Palmölertrag im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario wesentlich zu beeinträchtigen. Kleinbauern und industrielle Plantagen können sich für eine nachhaltige Intensivierung des Ölpalmenanbaus entscheiden, wenn sie die technologischen, sozialen und wirtschaftlichen Hindernisse überwinden. Die Ernährungssicherheit kann jedoch zu einem potenziellen Problem werden, da bei diesem Szenario landwirtschaftliche Flächen in großem Umfang in Ölpalmenplantagen umgewandelt werden. Daher sollte die künftige Ausweitung des Ölpalmenanbaus mit Bedacht erfolgen, um ein Gleichgewicht zwischen den Bedürfnissen der Menschen und der Umwelt zu erreichen.

Malaysia

Die Waldflächen in Malaysia sind seit 2010 relativ stabil geblieben. Andererseits hat sich der Ölpalmenanbau in erheblichem Maße auf Ackerflächen und auf Flächen ausgedehnt, die auf zuvor bewaldeten Gebieten entstanden sind (vgl. Gunarso et al., 2013). Seit den letzten 25 Jahren ist ein Rückgang der Dauerkulturen zu beobachten. Die nationale abgeerntete Plantagenfläche erreichte im Jahr 2015 etwa 4,86 Millionen Hektar (FAO, 2018, <http://faostat.fao.org>). Den tatsächlichen Umfang zu erfassen oder nur annähernd abzuschätzen wird von den Autoren als schwierig bezeichnet, da häufig ein indirekter Zusammenhang zwischen der Entwaldung und der Anlage neuer Ölpalmenplantagen besteht (durch vorherige Abholzung). Allerdings hat der Ausbau der Ölpalmenplantagen die Entwaldung in Malaysia direkter beeinflusst, als in Indonesien (Gunarso et al., 2013). Dies gilt für die Regionen Sabah und Sarawak (vgl. Gaveau et al., 2017; Gaveau et al., 2018; Gaveau et al., 2021), während die Entwaldung auf der malaysischen Halbinsel bereits früh vorwiegend durch die Ausweitung des Kautschukanbaus und anderer Nutzpflanzen vorangetrieben wurde (Gunarso et al., 2013).

Von den 11,8 Millionen Hektar Ölpalmenplantagen im Jahr 2015 wurden 6,4 Millionen Hektar (54%) nach 2000 auf Flächen gepflanzt, die im Jahr 2000 bewaldet waren. 1,0 Millionen Hektar (8,7%) wurden auf Flächen angepflanzt, die im Jahr 2000 nicht bewaldet waren. 4,4 Millionen Hektar (37%) wurden vor dem Jahr 2000 bepflanzt; der Bewaldungsstatus dieser Flächen vor 2000 konnte anhand der Daten nicht ermittelt werden (Busch et al., 2022). Die Verwendung einer alternativen Karte, die den primären und sekundären Waldbedeckungstypen des indonesischen Forstministeriums entspricht (Global Forest Watch, 2018), legt nahe, dass nur 2,1 Millionen Hektar Ölpalmen (18%) nach 2000 auf Flächen gepflanzt wurden, die um 2000 bewaldet waren. Die Schätzung des Anteils der Ölpalmenexpansion nach 2000 (siehe Busch et al., 2022), der auf bewaldetem Land stattfand, ist mit 86% höher als die Schätzungen früherer Analysen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die zugrundeliegende Waldbedeckungskarte mehr bewaldete Flächen (z. B. Sekundärwälder; nicht bewaldete Baumbestände) enthält als die in anderen Studien verwendeten Waldbedeckungskarten.

Zwischen 1973 und 2015 wurden schätzungsweise 4,2 Mio ha des malaysischen Borneo-Altwaldes gerodet, während 3,7 Mio ha davon für industrielle Plantagen (Palmöl oder Kautschuk) genutzt wurden (Gaveau et al., 2018). Der große Bestand an Waldflächen und natürlichen Ressourcen hat zu einer raschen Zunahme der landwirtschaftlichen Nutzung geführt, die zunehmend unreguliert und unkontrolliert verläuft. Dies hat zur Folge, dass die Entwaldung und Degradierung von Wäldern aufgrund der begrenzten Flächen, die für die landwirtschaftliche Produktion zur Verfügung stehen, immer problematischer wird (vgl. Gaveau et al., 2018).

In einer aktuelleren Untersuchung können Gaveau et al. (2021) mit Hilfe von umfangreichen Satellitenaufnahmen eine genauere Bestimmung der Flächenveränderung vornehmen. Für den untersuchten Zeitraum 2001-2019 hat sich die Ölpalmanbaufläche verdoppelt, auf aktuell jetzt 16,24 Mio ha in 2019; davon waren 64% industriell betriebene Plantagen und 36% Anlagen von Kleinbauern. Diese Flächenwerte liegen höher als die offiziellen Angaben, die den Flächenumfang mit 14,72 Mio ha angeben. Die Ausdehnung betraf vor allem den Bestand an Urwäldern, von deren Gesamtbestand von 9,79 Mio ha, nahezu ein Drittel (2,85 Mio ha) für die Anlage von Palmölplantagen umgewidmet wurde. Die Neuanlage von Plantagen erreichte ihren Höhepunkt in den Jahren zwischen 2009 und 2012, danach ging sie zurück. Die Studie sieht auch einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Ausdehnung des Palmölanbaus und den Ölpreisen. Eine Preisreduktion von 1% führt nach ihren Berechnungen zu einer Abnahme der Neuanlage von Plantagen in einer Größenordnung von 1,08% und damit zu einer Abnahme des Urwaldverlustes von 0,68%.

In einer neueren Studie von Aik und Ismail (2020) wurde eine auf Fernerkundungstechniken basierende Bewertung der Landbedeckung vorgenommen, um Veränderungen im Distrikt Bintulu (Borneo) zu analysieren. Hiermit sollte das Wachstum des Ölpalmenanbaus und dessen Einfluss auf den Rückgang der ursprünglichen Waldflächen zwischen 2016 und 2018 gemessen werden. Es wurden hochauflösende Satellitenbilder (3 m räumliche Auflösung) von PlanetScope verwendet, da sie dazu beitragen, mehrere Landbedeckungsklassen in einer höheren räumlichen Auflösung zu unterscheiden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Rückgang der Primärwälder in Bintulu in den letzten zwei Jahren etwa 26,5% beträgt. Mit diesem Rückgang geht ein Anstieg des Ausbaus von Ölpalmenplantagen um 17,6% innerhalb von nur 2 Jahren einher. Es wurde eine Zunahme der abgeholzten Flächen um 36,1% festgestellt. Diese wurden in andere Bodenbedeckungen umgewandelt, während andere Bodenbedeckungsklassen jedes Jahr um mindestens 20% abnahmen. Die Genauigkeit der Ergebnisse erwies sich mit 90,0% Konfidenz mit Bezug zu Satellitenbildern als angemessen genau. Auch hat sich in deren Untersuchung gezeigt, dass die Verwendung hochauflösender Satellitendaten eine weitgehend genaue Überwachung der Landnutzungsänderungen auch auf lokaler Ebene für das Ressourcenmanagement möglich macht. Es lassen sich so zeitnahe und zuverlässige Bewertungen erstellen. So konnte zum Beispiel für Verteilung der Bodenbedeckung 2016 im Plantagengebiet von Bintulu gezeigt werden, dass Ölpalmenplantagen 25,5% (171 Quadratkilometer) des Untersuchungsgebiets bedecken, während der Großteil der Fläche von Primärwäldern (30,9%) bedeckt ist. Diese bedeckte

Fläche hat sich von Jahr zu Jahr vergrößert - von 2017 auf 2018 von 173,50 Quadratkilometern (25,9%) auf 201,26 Quadratkilometer (30,0%).

Für Malaysia haben Tang und Al Qatani (2020) in ihrem Übersichtsartikel die Nachhaltigkeit von Ölpalmenplantagen in Malaysia anhand der zwischen 2000 und 2019 veröffentlichten Literatur untersucht. Sie sind dabei folgenden Fragen zur Nachhaltigkeit von Ölpalmenplantagen zu nachgegangen:

- (1) Waren Ölpalmen der Hauptgrund für die Entwaldung in Malaysia?
- (2) Dienen Ölpalmenplantagen als Kohlenstoffsinken?
- (3) Fördern Ölpalmenplantagen die soziale Nachhaltigkeit, indem sie Arbeitsplätze vor Ort schaffen?

In diesem Papier werden die Nachhaltigkeit von Ölpalmenplantagen in Malaysia somit unter Berücksichtigung der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Aspekte untersucht. Zudem werden Empfehlungen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Plantagen gegeben. Die Untersuchung umfasst eine Prüfung der vorhandenen Literatur und Berichte über die ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit von Ölpalmenplantagen, wobei die ökologische Nachhaltigkeit in die Themen biologische Vielfalt, Entwaldung, Umweltverschmutzung und Umwandlung von Torfmoorland unterteilt wird.

Die Ergebnisse der Überprüfung werden dann anhand der gängigen Modelle der schwachen und starken Nachhaltigkeit bewertet. Außerdem werden Empfehlungen für nachhaltige Praktiken im Ölpalmsektor auf den Ebenen der Planung, der Politikgestaltung und der Umsetzung ausgesprochen. Die Untersuchung zeigt, dass Ölpalmenplantagen im Vergleich zu abgeholzten Wäldern eine geringere biologische Vielfalt aufweisen und nicht allein für die Entwaldung in Malaysia verantwortlich gemacht werden können, insbesondere vor 1985, als der Holzeinschlag besonders ausgeprägt war. Die Ausdehnung der Ölpalmenplantagen hat jedoch zu Umweltverschmutzung geführt und die Umwandlung von Torfmoorgebieten ausgelöst. Auf sozialer Ebene haben die Ölpalmenplantagen zwar die Einkommen der Kleinbauern verbessert, aber auch eine große Zahl ausländischer Arbeitskräfte angezogen, was zu Fragen der Wohlfahrt, der Menschenrechte, der sozialen Gerechtigkeit und des demografischen Wandels führen kann. Ölpalmen haben wesentlich zur malaysischen Wirtschaftsentwicklung beigetragen und werden als produktive Landnutzung verstanden. Biodiversitäts- und Umweltmanagement, Nachhaltigkeitszertifizierung, verstärkte soziale Unternehmensverantwortung und eine Überprüfung der Beschäftigungspolitik werden als Voraussetzungen für die Nachhaltigkeit von Ölpalmen angesehen.

Wichtigste Ergebnisse:

1. In Malaysia schrumpfte die Waldfläche von 1975 bis 2005 um 20%, und im gleichen Zeitraum wuchs die mit Ölpalmen bepflanzte Fläche von 0,7 auf 4 Mio ha. Wicke et al. (2011) berichteten über eine hohe Entwaldungsrate zwischen 1975 und 1985, was zu einem Gesamtverlust von 1,8 Mio ha Waldfläche führte.

-
2. Während die Holzproduktion die anfängliche Entwaldung bis zu ihrem Höhepunkt im Jahr 1993 wesentlich vorangetrieben hat, wird die Expansion des Ölpalmenanbaus als Hauptgrund für die Entwaldung ausgemacht. Nach Angaben von Global Forest Watch (2018) gingen zwischen 2001 und 2017 7,29 Mio ha Waldfläche verloren.
 3. Torfmoorflächen machten etwa 7,45% oder 2.457.730 ha der gesamten Landfläche Malaysias aus, und 69% der Torfmoorflächen befanden sich in Sarawak, während auf die Halbinsel Malaysia und Sabah 26% bzw. 5% der Torfgebiete entfielen. Im Jahr 2010 machten Torfgebiete mit einer Waldbedeckung von mehr als 70% nur 20% der gesamten Torfmoorfläche aus, und hydrologisch intakte Torfdome waren in Malaysia kaum zu finden (Wetlands International 2010). Im Jahr 2016 betrug die Fläche der Torfsumpfwälder in Malaysia 0,25 Millionen Hektar, was nur 10,2% der gesamten Torffläche entspricht (Forest Department 2018).
 4. In Malaysia wurden 2009 insgesamt 666.038 ha Torfmoorland in Ölpalmenplantagen umgewandelt, was einen Anstieg um 113% gegenüber der im Jahr 2003 erfassten Fläche mit Ölpalmen bebauter Torfböden bedeutet.

Die Ursachen für die Veränderung der Landnutzung sind in der Regel auch nicht unabhängig voneinander zu bewerten (Tang und Al Qatani, 2020). So geht zum Beispiel die Holznutzung (Waldrodung) fast immer der Anlage von Ölpalmpflanzungen voraus. In anderen Fällen ist es schwierig, einen direkten Zusammenhang nachzuweisen, insbesondere, wenn zwischen der Holznutzung und der Neuanlage von Ölpalmpflanzungen mehrere Jahre vergehen. In einigen Regionen wurden Ölpalm-Konzessionen zur betrügerischen Ausbeutung von Holzressourcen genutzt, ohne die Absicht, diese als Ölpalmpflanzungen zu entwickeln. Auch die Auswirkungen von Brandrodungen wären zu berücksichtigen, insbesondere, wenn sie so intensiv sind, dass sie innerhalb weniger Wochen Waldflächen zu Nicht-Waldflächen machen. Die Abholzung schafft die Voraussetzungen für Brände, indem sie das Kronendach öffnet, so dass die Sonneneinstrahlung den Waldboden erreicht und brennbares Material durch Austrocknung entsteht. Waldbrände während üblicher Dürreperioden können sich über große Gebiete ausbreiten und haben sich als besonders schädlich für Torfsümpfe erwiesen, wo Bodenbrände die Wurzelsysteme schädigen können. Feuer wurde traditionell eingesetzt, um die Entwicklung von Ölpalmenplantagen zu fördern. Aber auch Unachtsamkeit kann zu unkontrollierten Bränden führen, die sich auf benachbarte Waldlandschaften auswirken und dazu führen, dass diese sich von Dauerwald in Buschland oder Agroforst verwandeln. Alle diese genannten Zusammenhänge führen zu Unsicherheiten in der Bewertung der Ursachen für (indirekte) Landnutzungsänderungen.

Torfmoore (Peatland)

Tropische Torfmoore sind eines der größten Reservoirs für organischen Kohlenstoff. Die heutigen tropischen Torfsumpfwälder sind jedoch durch anthropogene Störungen bedroht und wurden bereits weitgehend degradiert. Der anthropogene Druck auf Torfökosysteme hat zu ökologischen und biogeochemischen Veränderungen und zur Freisetzung von Kohlenstoff in die Atmosphäre geführt. In Südostasien hat sich die Umwandlung von Torfmoorgebieten in

Ölpalmenplantagen in den letzten zwei Jahrzehnten erheblich beschleunigt. Dies geschieht sowohl in Indonesien als auch in Thailand.

Die Umwandlung von Torfmoorgebieten, oft durch den (illegalen) Einsatz von Feuer, hat zu einem erheblichen Verlust an Kohlenstoffvorräten beigetragen (vgl. frühe Untersuchung von Wicke et al., 2011). Die geschätzte Fläche der industriellen Ölpalmenplantagen auf Torfmoorflächen in Indonesien stieg von 19.000 ha im Jahr 1990 auf 1,311 Millionen Hektar im Jahr 2010. Austin et al. (2017) schätzen eine Ausdehnung des Ölpalmenplantagenanbaus auf Torfgebieten im Umfang von 305.000 ha zwischen 1995 - 2000 und von 619.000 ha zwischen 2010-2015. Nimmt man beide Quellen zur Grundlage einer Schätzung, kann davon ausgegangen werden, dass für Sumatra, Kalimantan und Papua der Anteil der Gesamtausdehnung des Palmölanbaus auf Torfmoorböden („Feuchtgebiete“) etwa 50% der Fläche betreffen und in Gebieten, die dem "tropischen Wald" entsprechen, ebenfalls einem Anteil von 50% entsprechen. Numata et. al. (2022) haben aktuell für die indonesische Provinz Riau festgestellt, dass in den letzten dreißig Jahren (1990-2020) ca. 45% der abgeholzten Wälder in die Anlage von ca. 2,08 Mio ha Ölpalmenplantagen umgewidmet wurden. Die neu genutzten Flächen waren zum größten Teil Mineralböden, aber auch die ursprünglichen Torfmoorflächen waren erheblich betroffen. Sie machten ca. 65% der verbliebenen Waldflächen aus.

Für die Umwandlung von Torfmoorland untersuchten Srisunthon und Chawchai (2020) die Veränderung der Landnutzung und -bedeckung (LUCC) vor und nach der Einführung der thailändischen Regierungspolitik im Jahr 2005. Sie analysierten direkte und indirekte Landnutzungsänderungen (DLUC und ILUC), die mit der Expansion von Ölpalmen und anthropogenen Einflüssen im Princess Sirindhorn Wildlife Sanctuary (PSWS), Narathiwat, Südthailand, verbunden sind. Die Analyse basiert auf Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten des Land Development of Thailand aus zwei verschiedenen Zeiträumen: 2000-2009 und 2009-2016. Zu Vergleichszwecken wurden die Daten in 12 Landnutzungsarten eingeteilt: Ölpalme, Parakautschuk, Reisfeld, aufgegebenes Reisfeld, Obstgarten, andere landwirtschaftliche Flächen, Feuchtgebiete oder Torfmoore, Mangroven, immergrüner Wald, Wasserfläche, bebaute Fläche und ungenutzte Fläche. Darüber hinaus wurde die Fläche der Nettoveränderung aufgrund von DLUC und ILUC berechnet, und die Veränderungen des Kohlenstoffbestands wurden anhand der ober- und unterirdischen Biomasse und des organischen Kohlenstoffs im Boden geschätzt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gesamtfläche der Ölpalmenplantagen von 0,04% im Jahr 2000 auf 6,84% im Jahr 2016 gestiegen ist. Ein Hauptgrund für die Flächenausdehnung wird von den Autoren darin gesehen, dass die thailändische Regierung die Verwendung von Biodiesel fördert und die Kapazität der Palmölproduktion im Jahr 2005 erhöht hat. Ersetzt wurden vor allem Reisfelder, immergrüne Wälder, Feuchtgebiete und Torfmoore. Die Abholzung von Naturwäldern hat im Zeitraum 2000-2009 stark zugenommen. Die ILUC-Studie zeigt, dass die Ausdehnung der Ölpalmenplantagen, die anderer Anbauflächen übersteigt (wie Reisfelder, Parakautschuk und Obstplantagen). Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Umwandlung natürlicher Landschaften (immergrüne Wälder, Mangroven, Feuchtgebiete und Torfgebiete) in Ölpalmenplantagen in der Untersuchungsregion negative Auswirkungen auf die Kohlenstoffbestände gehabt haben.

Die Analyse der LUCC zeigt, dass die Ölpalmenplantagen und die bebauten Flächen zwischen 2000 und 2016 um 6,80% bzw. 2,87% zugenommen haben. Reisfelder (-6,99%) und immergrüne Wälder (-8,17%) waren die wichtigsten Flächen, die ersetzt wurden. Die Umwandlung natürlicher Landnutzungsformen (immergrüne Wälder, Mangroven, Feuchtgebiete und Torfmoore) in Ölpalmpflanzungen führte in dem Gebiet zu einer Verringerung des Kohlenstoffbestands um etwa 4 Millionen Megagramm C (0,25 Millionen Mg C/Jahr).

Angesichts der Bedeutung der durch Landnutzungsänderungen bedingten Veränderungen des Kohlenstoffbestands unterstreicht diese Untersuchung die Notwendigkeit eines nachhaltigen Landnutzungsmanagements und einer langfristigen Überwachung.

Zwischenfazit

Die Flächenausdehnung des Ölpalmenplantagenanbaus in den Regionen folgt zumindest für den zwanzigjährigen Zeitraum (1995 – 2016) mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 7 bis 7,7% einem historischen Trend. Auch zwischen Regionen in den betreffenden Ländern gibt es messbare Unterschiede. Die Flächenausdehnung bei Neuanpflanzungen in Sumatra ist nach wie vor groß, aber die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate ist von ursprünglich 7,6% auf 3,8% in den letzten fünf Jahren zurückgegangen. Selbst in Sarawak, das zwischen 1990 und 2005 jährliche Wachstumsraten zwischen 15 und 20% verzeichnete, hat sich das Wachstum etwas verlangsamt, obwohl es keine Anzeichen dafür gibt, dass die Veränderungsrate auf Torfböden abnehmen. Kalimantan expandiert weiterhin mit nahezu exponentiellen Wachstumsraten, ein Trend, der sich Ansicht der zitierten Autoren in naher Zukunft abschwächen wird. Wenn allerdings die Vergangenheit ein verlässlicher Wegweiser ist und die Nachfrage nach Palmöl weiter steigt, ist es wahrscheinlich, dass sich die Expansion kurzfristig mit jährlichen Raten von 7% fortsetzen wird, wobei sich die künftigen Ausdehnungen auf die Grenzlandschaften von Papua und Papua-Neuguinea verlagern könnten.

Die Produktion von Palmöl ist nur eine der Ursachen für die Abholzung der Wälder. In Indonesien ist die größte Einzelursache für den historischen Waldverlust vor allem der intensive Holzeinschlag und die Auswirkungen von Bränden, die in Kombination zu einer fortschreitenden Degradierung großer Waldgebiete in Agroforst oder Buschland geführt haben. In Malaysia war die direkte Umwandlung von Wald in Ölpalmen häufiger zu beobachten, vor allem in Sabah und Sarawak. Dort ist aber auch die Umwandlung anderer Landnutzungsarten, wie Kautschuk, von größerer Bedeutung.

3.2.3 Rapsproduktion

Die Produktion des Rapsölanbaus konzentriert sich auf die Regionen Kanada, China und die EU28 mit rund 78% der weltweiten Produktion. Rechnet man Indien und die Vereinigten Staaten hinzu, erhöht sich dieser Anteil auf insgesamt 90%. Nach Ölpalmen und Sojabohnen ist Raps die dritt wichtigste Ölpflanze. Die weltweite Produktion ist zwischen 2006 und 2016 um 40% gestiegen. Im Gegensatz zu den Palmöl und Soja produzierenden Regionen, verzeichnen die relevanten Länder in den letzten zehn Jahren eine Nettoaufforstung, mit Ausnahme von Kanada, das nach Daten der FAO (2018) eine geringe Nettoabholzung aufwies. Es gibt also zunächst keinen offensichtlichen Zusammenhang zwischen der jüngsten Expansion des Rapsanbaus und der Waldnutzung. Auch sind die Produktivitätsfortschritte beim Rapsanbau erheblich. Die weltweite Rapsproduktion ist zwischen 1994 und 2018 um das 3,3-fache gestiegen, während sich die Anbauflächen nur nahezu verdoppelt haben (vgl. Fridrihsone et al., 2020).

Wissenschaftliche Beiträge zu einem unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Rapsproduktion und indirekten Landnutzungsänderungen konnten nicht identifiziert werden. Lediglich eine Fallstudie aus der jüngeren Vergangenheit befasst sich mit der Ausdehnung des Rapsölanbaus und möglichen ILUC-Risiken, die sich auf die Wirkungszusammenhänge am Beispiel Rumäniens konzentrieren (vgl. Brinkman et al., 2018).

Diese Studie untersucht für eine vergleichsweise kleine Region (Ostrumänien) die Auswirkungen des Rapsanbaus für die Biodieselproduktion auf die Landnutzung. Die Berechnungen werden auf das Referenzjahr 2020 bezogen, dem Jahr, zu dem das erste Ziel von 10%-Verwendungsanteil von erneuerbaren Energien im Verkehrssektor der EU gilt.

Auf der Grundlage aktueller Produktionsdaten des Jahres 2020 und entsprechender Landnutzungsdaten des rumänischen Statistikinstituts (INSSE) wurden verschiedene Landnutzungsprojektionen für die pflanzliche Produktionsentwicklung in der Region mit dem MIRAGE-Modell (Modelling International Relationships in Applied General Equilibrium) durchgeführt. Das MIRAGE-Modell ist ein allgemeines Gleichgewichtsmodell, das vom International Food Policy Research Institute (IFPRI) entwickelt wurde. Einfach ausgedrückt, projiziert das Modell die Auswirkungen der Anbauveränderung auf Angebot und Nachfrage in verschiedenen Sektoren der Weltwirtschaft. Eine erhöhte Biokraftstoffproduktion wird als exogene Veränderung modelliert und für die Nachfrage wird eine wachsende Bevölkerung angenommen.

Schwerpunkt der Untersuchung sind die mit einer indirekten Landnutzungsänderung verbundenen Treibhausgasbilanzen von Biokraftstoffen. Der Untersuchungsansatz geht davon aus, dass noch nicht in Produktion befindliche Flächen in der Untersuchungsregion für die Biodieselproduktion genutzt werden. Auf diese Weise kann ein möglicher Flächenbedarf außerhalb der Untersuchungsregionen reduziert werden. Auf den entsprechenden Flächen wird dann die Rapsproduktion aufgenommen. Unterstellt wird dabei ein geringeres ILUC-

Risiko von Raps bei der Biodieselproduktion und geringere Treibhausgasemissionen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen. Für diese Studie berechnen die Autoren das Raps-Biodiesel-Potenzial und die THG-Emissionen für vier Maßnahmen zur Bereitstellung von Überschussflächen im Basisjahr 2020. Vier Szenarien, die sich in den Annahmen zur Produktivität und Nachhaltigkeit im Agrarsektor unterscheiden, zeigen die Unterschiede im Potenzial dieser Maßnahmen. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Nutzung überschüssiger Flächen zur Herstellung von Raps-Biodiesel ein Potenzial von 3-64 Petajoule (PJ) aufweist, was 1 - 28% des prognostizierten rumänischen Dieselverbrauchs im Straßenverkehr entspricht. Ertragssteigerungen im Ackerbau und in der Viehproduktion begründen das errechnete Einsparpotenzial. Wenn die Biodieselproduktion durch die Ausdehnung des Rapsanbaus auf bisher wenig produktiven Flächen erfolgen würde, dann könnte damit das Risiko indirekter Landnutzungseffekte (zum Beispiel durch eine vermehrte Sojaproduktion anderswo) erheblich reduziert werden.

Da die THG-Emissionen der ILUC-Minderungsmaßnahmen auch im übrigen Agrarsektor anfallen, ist es wichtig, diesen Sektor als Ganzes zu betrachten. Das bedeutet, dass sich die Bewertung und Überwachung der Fortschritte bei der ILUC-Minderung auf den breiteren Agrarsektor konzentrieren sollte, um eine Unterschätzung der ILUC-Minderungseffekte zu vermeiden. Da die Ergebnisse dieser Studie auf den MIRAGE-Modellergebnissen beruhen, konnten die marktrelevanten Auswirkungen der ILUC-Minderungsmaßnahmen nicht berücksichtigt werden.

Die folgende Übersicht 2 stellt die Ergebnisse aus den aktuellen Studien zu den einzelnen Ölsaaten und deren Flächenveränderungen zusammen. Es zeigen sich in den Kriterien wie etwa betrachteter Zeitraum, Themenschwerpunkt, betreffende Region und Flächenveränderungen zum Teil große Unterschiede. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch bezogen auf die untersuchten Zeiträume ist dadurch nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Dennoch zeigen sich zumindest für die kritischen Ölsaaten – Palm und Soja – erhebliche Landnutzungsveränderungen.

Übersicht 2: Aktuelle Studieninhalte zum Ölsaatenkomplex

SOJA				
Erfasster Zeitraum	Region	Themenschwerpunkt	Absolute Flächenzunahme in (ha)	Studie
2000-2019	South America	Soybean expansion	28,700,000	Song et al. (2021)
2008-2020	Brasil	Soybean expansion and Soybean Moratorium	42 % increase in forest loss (11,088 km ²) occurred between August 2019 and July 2020.	Paim (2021)
2008-2016	12 US-MidWest States	Grass-to-cropland and carbon losses	2,050,000	Zhang et al. (2021)
2004-2011	Amazon biome	Expansion of soybean farming into deforested areas role of soy moratorium	n. a.	Amaral et al. (2020)
2006-2017	Brasil/Mato Grosso/Cerrado	Monitoring zero deforestation commitments	n. a.	Zu Ermgassen et al. (2020)
2016	Brasil	Tariff on soybeans and impact on LUC and GHG	4,000,000	Richards et al. (2020)
2003-2015	Brasil/Cerrado	Soy expansion	1,300,000	Rausch et al. (2019)
		Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybean	The years following the Soy Moratorium's establishment (2007–2013), 40% of new soy expansion in the Cerrado replaced native vegetation; soy area roughly doubled in Matopiba. Of the remaining Cerrado vegetation, 89% is on land suitable for soy production, and 40% of this suitable area is eligible to be legally cleared under the Forest Code.	Nepstad et al. (2019)
2000-2014	Brasil/Mato Grosso/Minas Gerais	Soy expansion	26,0 – 46,1 Mio Hektar	Zalles et al. (2019)
Kernaussage	<p>Aktuellste Studien zeigen: die Anbauflächen für Soja in Brasilien breitet sich weiter aus. Soja-Moratorium führte zu einem Rückgang der entwaldeten Fläche/ Entwaldungsgeschwindigkeit, auch bedingt durch die Umwandlung von Weideland in Anbaufläche. Ein Großteil neuer Anbauflächen entsteht auf ehemaligen Weideflächen (Zalles et al. 2019). Neues Weideland entsteht durch Neuabholzung. Der Soja-Anbau verursacht durch diese ILUC die Abholzung. Die Verlangsamung der Ausdehnung in Brasilien schließt jedoch eine Ausdehnung anderswo nicht aus. In Regionen, die vom Soja-Moratorium nicht betroffen sind, z.B. Matopiba, ist kein Rückgang zu verzeichnen (Zalles et al. 2019).</p>			

Palm I				
Erfasster Zeitraum	Region	Themenschwerpunkt	Absolute Flächenveränderung in (ha)	Studie
2001-2016	Indonesia, Malaysia (Borneo)	Peatland Loss in Southeast Asia Contributing to U.S. Biofuel's Greenhouse Gas Emissions	n. a.	Zhu et al. (2022)
Simulation Datenbasis 2010	Indonesia	Impact of EU import ban on palm oil to Indonesian economy and the environmental	Total land use will be reduced by -0.48 % (-0.6 %).	Rum et al. (2022)
2000-2015	Indonesia	Effects of demand-side restrictions in Europe on deforestation in Indonesia	6,400,000 (54%) was planted after 2000 on former forestad land; 1,000,000 (8.7%) was planted on land that was not forested in 2000	Busch et al. (2022)
2019	Worldwide	High-resolution global map of smallholder and industrial oil palm plantations	<p>21,000,000 ± 420,000 (72.7%) 15,260,000 ± 400,000 industrial; (27.3%) 5,720,000 ± 220,000 smallholders) (underestimation)</p> <p>South East Asia: 18.690.000 ± 330.000</p> <p>South America: 910.000 ± 60.000</p> <p>West Africa: 790.000 ± 110.000 (68.7% smallholders)</p> <p>Central America: 520.000 ± 40.000</p> <p>Central Africa: 210.000 ± 600.000 (14.5% smallholders)</p> <p>Pacific: 140.000 (26.8% smallholders)</p> <p>Indonesia: 12,050,000 ± 230,000 (66.8% industrial; 33.2% smallholders)</p>	Descals et al. (2021)
2001-2019	Indonesia	Slowing deforestation follows declining oil palm expansion and lower oil prices	<p>The area that was forest in 2000 and is oil palm in 2019 is 3,090,000 (32% of total forest loss: 9,790,000); 2,850,000 (29%) cleared and converted in the same year ("rapid conversion"): 2,130,000 (22%) industry and 720,000 (7%) smallholders.</p> <p>The dataset is produced mostly by visual interpretation and manual delimitation of oil palm development; no direct measure of planted areas, but instead, areas that were "cleared to develop plantations".</p>	Gaveau et al. (2021)

Palm II					
Erfasster Zeitraum	Region	Themenschwerpunkt	Absolute Flächenveränderung in (ha)		Studie
2035 (projections)	Indonesia	Oil palm production has increased because of expansion of cultivated area rather than due to average-yield increases.	BAU (projection of of historical trends [2001-2018]) + 9,200,000 new land; peat and primary and secondary forest (+29%)	Three different scenarios: - BAU (Business-as-usual) - INT (yield intensification) - INT-TE (C-stock land + conversion practices + R&D)	Monzon et al. (2021)
2016-2018	Malaysia (Borneo)	Detection of deforestation and land conversion from high resolution satellite imageries in Bintulu District, Serawak,	Oil palm plantations cover 25.5% (17,100) of the study area; majority of area is covered by primary forests (30.9%). Palm area: 2016: 17,109 (25.5%); 2017: 17,350 (25.9%); 2018: 20,126 (30.0%)		Aik and Ismail (2020)
1961-2017	Global scale	The environmental impacts of palm oil in context.	Total oilcrops: 1961: 170,000,000; 2017: 425.000.000 Palmoil: 2008-2017: + 700,000 p.a. Malaysian Borneo: 1972-2021: 50% of new plantations are deforestation Review of 23 studies that reported land-use or land-cover change involving oil palm		Meijard et al. (2020)
2000-2010	Indonesia	Trends in global dependency on the Indonesian palm oil and resultant environmental impacts; Indirect contributions to land-use changes in Indonesia by nation 2000–2010.	LUC derived from the oil palm plantation (est. for 2000-2005: 1.400.000; 2005-2010: 3.000.000.	LUC footprints by nations that are depending on palm oil (international supply chains); Trends in the Indonesian palm oil imports and footprints per nation.	Shigetomi et al. (2020)
2000-2016	Southern Thailand	Land-Use Change and Effects of Oil Palm Expansion Peatland	2000-2009: 2,943 2009-2016: 4,716		Srisunthon et al. (2020)
1975-2005	Malaysia	Sustainability of oil palm plantations	1975-2005: + 3,300,000 Forest land - 20% Area planted with oil palms grew from 700,000 - 4,000,000.		Tang and Qahtani (2020)

Palm III				
Erfasster Zeitraum	Region	Themenschwerpunkt	Absolute Flächenveränderung in (ha)	Studie
1988-2018	Küstenregionen Süd-Asien	Land Use Change in the Major Bays	Netto-Verlust an natürlicher Waldfläche: 7.702,3 km ² Netto-Verlust an Mangroven-Wäldern: 1.449,8 km ²	Zhang and Su (2020)
2000-2016	Indonesia, West Kalimantan	Ecosystem services under future oil palm expansion scenarios	+ 1,170,000 Three scenarios: 1) business as usual, 2) conservation and, 3) sustainable intensification, based on current land-use policy, spatial planning, projected oil palm expansion.	Sharma et al. (2019)
Kernaussage	<p>Weltweit sind Palmölplantagen zwischen 2008 und 2017 um 0,7 Mio ha pro Jahr gewachsen (Meijaard et al. 2020). Moratorium in Indonesien seit 2018. Wenige Daten aus Studien ab 2018: keine Aussage über die Wirkung möglich. Aber Zahlen aus Presse oder ähnlichen Quellen zeigen, dass es einen Rückgang der Entwaldungsrate ab 2017/2018 gab. Das Moratorium ist im September 2021 ausgelaufen. Nach Moratorium von 2011, Entwaldungsrate ist gesunken von 91 000 ha pro Jahr (2001-2017) auf 1 000 ha pro Jahr (2012-2017). Allerdings waren die Entwaldungsrate außerhalb der Gebiete, welche unter dem Moratorium standen, 35% - 396% höher (Chen et al. 2019). Diesel aus erneuerbarem Energien hat das Potential 66,9 – 85,4% an THG-Emissionen im Vergleich zu fossilem Diesel einzusparen (Xu et al. 2020). Bei der Nutzung von Palmöl für die Herstellung von Biodiesel fallen zwei Größen ins Gewicht in Bezug auf die THG-Emissionen. Zum einen die Landnutzungsänderungen, insbesondere die Trockenlegung von Moorflächen, wodurch große Mengen an THG-Emissionen freigesetzt werden. Unter Einbezug von ILUC steigen die THG-Emissionen auf 75-280 gCO₂/MJ. Zum anderen die Nutzung von offenen Becken (open-pond-system) in den Palmölmühlen. Bei der Nutzung dieses Systems wird 17-18 g CO₂/MJ mehr freigesetzt, als bei geschlossenen Systemen (Xu et al. 2020). Zum Vergleich: Diesel aus fossilen Brennstoffen liegt bei 92,5 gCO₂/MJ. Betrachtet man die THG-Emissionen ohne ILUC hat Biodiesel aus Palmöl die geringsten THG-Emissionen pro MJ Diesel (Uusitalo et al. 2014; Kim et al. 2017). Bei der Umwandlung von Wald zu Ölpalmpflanzungen entstehen 437 t CO₂/ha. Im Gegensatz dazu, entsteht durch Umwandlung einer stillgelegten Fläche zu einer Anbaufläche von Raps nur 95 t CO₂/ha. Interessanterweise hat die Umwandlung von Grasland zu Palmölplantagen sogar eine negative CO₂-Bilanz, da die Ölpalmen mehr CO₂ speichern als das Grasland (Schmidt et al. 2010).</p>			

Raps				
Erfasster Zeitraum	Region	Themenschwerpunkt	Absolute Flächenzunahme in (ha)	Studie
1994-2018	Europe (Latvia)	Environmental Life Cycle Assessment of Rapeseed and Rapeseed Oil Produced (Case Study)	<p>Absolute expansion in acreage (ha): n.a.</p> <p>Life cycle assessment (LCA) to evaluate environmental impacts of products and processes. LCA-method evaluates the environmental sustainability and the overall impacts, bottlenecks and benefits from the use of bio-based feedstock.</p> <p>In the case of oil produced from winter rapeseed, it is evident that substituting soybean meal fed to ruminant and poultry by rape cake would lead to GHG emission savings (positive ILUC-effects).</p>	Fridrihsone et al. (2020)
2010-2020	Eastern Romania (case study)	Low-ILUC-risk rapeseed biodiesel: potential and indirect GHG emission effects	<p>Absolute expansion in acreage (ha): 242,000</p> <p>Yield improvements of crops and livestock are crucial to reduce the ILUC risk. Low-ILUC-risk biodiesel production is feasible with low GHG emissions of ILUC mitigation measures under specific conditions.</p>	Brinkman et al. (2018)

4 Ökonomische Bewertung der Auslöseeffekte für indirekte Landnutzungsänderung im Rahmen des Monitorings (auf Grundlage des EU-Berechnungsmodells)

Eine Zielsetzung der RED II ist es festzulegen, bei welchen Rohstoffen eine bedeutende Ausweitung des Anbaus stattfindet. Eine bedeutende Ausweitung des Anbaus hat zur Folge, dass diese Rohstoffe als Biomasse-Brennstoffe mit einem hohen ILUC-Risiko gelten. Bei der Bestimmung, ob eine Ausdehnung „bedeutend“ ist, spielen drei Faktoren eine Rolle.

1. der absolute relevante Umfang der Flächenausdehnung seit einem bestimmten Jahr im Vergleich zur Gesamtproduktionsfläche der jeweiligen Nutzpflanze.
2. der Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand
3. die Art der Nutzpflanze und der Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand

Der erste Faktor berücksichtigt sowohl die absolute als auch die relative Zunahme. Dabei sollte die durchschnittliche jährliche absolute Zunahme 100 000 ha nicht überschreiten. Die relative Zunahme sollte nicht über 1% steigen. Rohstoffe, die diese Werte nicht überschreiten können ausgeschlossen werden, da deren Produktionszunahme vor allem durch Ertragsverbesserungen zustande kommt.

Wenn jedoch diese beiden Schwellenwerte überschritten werden, ist das zweite Kriterium entscheidend. Wenn durch die Ausweitung der Anbaufläche eines Rohstoffes auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand mehr THG-Emissionen entstehen, als durch dessen Einsatz als Biokraftstoff eingespart werden, führt der Einsatz dieses Rohstoffes nicht zur Einsparung von THG-Emissionen im Vergleich zu fossilen Brennstoffen. Biokraftstoffe müssen aber gegenüber fossilen Brennstoffen mind. 50% THG-Emissionen einsparen (RED II). Nach Berechnungen der EU-Kommission wird ein Schwellenwert von 10% festgelegt. Das bedeutet, dass die Ausweitung des Anbaus auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand einen Wert von 10% im Vergleich zur gesamten Ausdehnung der Anbaufläche nicht überschreiten darf. Nur so können bedeutende Nettoeinsparungen von THG-Emissionen realisiert werden.

Der dritte Faktor bezieht sich sowohl auf die Art der Nutzpflanze als auch auf die Art des Bodens. So ist die Freisetzung von THG-Emissionen auf Torfmoorflächen deutlich höher als auf anderen Flächen. Des Weiteren werden die Emissionen auf den Energiegehalt aller vermarkteten Produkte angerechnet, wodurch Unterschiede zwischen Dauerkulturen und einjährigen Rohstoffen entstehen. Der Produktivitätsfaktor ist bei mehrjährigen Kulturen höher angesetzt. Aus den drei beschriebenen Faktoren, die eine bedeutende Ausweitung beschreiben, ergibt sich demnach folgende Formel:

$$x_{hcs} = \frac{x_f + 2.6x_p}{PF}$$

Wobei:

x_{hcs} = Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand;

x_f = Anteil der Ausweitung auf die in Artikel 29 Absatz 4 Buchstabe b und c der RED II genannten Flächen;

x_p = Anteil der Ausweitung auf die in Artikel 29 Absatz 4 Buchstabe a der RED II genannten Flächen;

PF = Produktivitätsfaktor.

Der PF beträgt 1,7 für Mais, 2,5 für Palmöl, 3,2 für Zuckerrüben, 2,2 für Zuckerrohr und 1 für alle anderen Nutzpflanzen.

Die Formel zur Berechnung wurde im Folgenden beispielhaft angewandt. Laut der RED II ist das Referenzjahr zur Beurteilung der Flächenveränderung das Jahr 2008. Aufgrund mangelnder Daten wird hier auf andere Jahre zurückgegriffen.

Im ersten Beispiel wird die Flächenberechnung nach Daten von Abood et al. (2015) durchgeführt. Der Zeitraum der betrachtet wird ist 2000 bis 2010. Die erhobenen Daten beziehen sich auf ganz Indonesien. In den 10 Jahren ist ein Flächenzuwachs von Palmölplantagen von 3.766.000 ha festzustellen. Die Ausbreitung auf Torfmoorflächen beträgt 534.000 ha. Diese Flächen werden in der Berechnung deutlich stärker gewichtet, da der CO₂-Ausstoß im Vergleich zu anderen Flächen erhöht ist. Insgesamt ergibt sich so ein Wert von 0,31. Dieser liegt über den gewünschten 10%, wodurch zumindest für den Zeitraum von 2000 - 2010 eine „bedeutende“ Ausweitung des Palmölplantagenanbaus in Indonesien festzustellen ist.

Die weiteren Werte stammen aus einer Studie von Carlson et al. (2013). Die Autoren haben verschiedene Szenarien für die zukünftige Entwicklung des Anbaus von Palmöl in Kalimantan, Indonesien entwickelt. Sollte der Anbau von Palmöl unverändert weitergehen, wie zu dem Zeitpunkt der Studie, kann innerhalb von 10 Jahren (2010-2020) einen Flächenzuwachs an Palmölplantagen von über 9 Mio ha erwartet werden. Der Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand würde bei 0,47 und damit deutlich über der 10%-Grenze liegen, bei denen die THG-Emissionen durch den Anbau von Palmöl nicht die Menge an THG-Emissionen durch fossile Brennstoffe übersteigen. Des Weiteren wurde die Formel hier noch auf die Zeiträume 1990-2000 und 2000-2010 angewandt. Auch hier übersteigt die Ausweitung der Anbaufläche auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand den Grenzwert.

In der Studie von Ramdani et al. (2013) finden sich ebenfalls Werte, um den Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand zu berechnen. Allerdings ist der absolute Wert des Flächenzuwachses der Palmölplantagen insgesamt nicht exakt angegeben. Dafür sind die relativen Werte für den jeweiligen Zuwachs auf Waldflächen und auf Moorflächen angegeben, so dass dennoch mit der Formel gerechnet werden kann. Es ergibt sich ein Wert von 0,84. Dieser liegt deutlich über den Werten aus den anderen Studien. Allerdings ist dieser Wert nicht überraschend, da 70% aller Palmölplantagen in dem angegebenen Zeitraum auf ehemaligen Mooregebieten angelegt wurden.

Übersicht 3: Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand

Quellen	Region	Zeitraum	Flächenzuwachs Palmölplantagen insgesamt (in ha)	Flächenzuwachs Palmölplantagen auf ehemaligem Wald (in ha)	Flächenzuwachs Palmölplantagen auf ehemaligen Mooren (in ha)	X_{HCS}
Abood et al. (2015)	Indonesien	2000-2010	3 766 000	1 600 000	534 000	0,31
Carlson et al. (2013)	Kalimantan, Indonesien	1990-2000	745 800	413 600	25 300	0,26
Carlson et al. (2013)	Kalimantan, Indonesien	2000-2010	2 328 000	1 323 100	376 800	0,39
Carlson et al. (2013)	Kalimantan, Indonesien	2010-2020	9 384 400	6 915 700	1 710 600	0,47
Gunarso et al. (2013)	Indonesien	1990-2010	6 387 000	1 220 000	1 334 000	0,28
Gunarso et al. (2013)	Malaysia	1990-2010	3 252 000	1 239 000	131 400	0,19
Ramdani et al. (2013)	Riau Provinz (Indonesien)	2000-2012	ca. 200 000	67 877	162 004	0,84
Saswattecha et al. (2016)	Thailand, Tapi river basin	2000-2009	133 769	6 972	863	0,03
Saswattecha et al. (2016)	Thailand, Tapi river basin	2009-2012	26 993	932	50	0,02
Srisunthon und Chawchai (2020)	Südthailand	2009-2016	4 730	23	2 448	0,53
Zhu et al. (2022)	M&I (Malaysia, Indonesien)	2001-2016	11 890 000	k. A.	2 140 000	$X_P = 0,18$ $X_F = ?$
Numata et al. (2022)	Indonesien (Region Riau)	1990-2020	2 930 000	1 020 000	2 620 000	0,72

Quelle: eigene Berechnungen

Beispielrechnung Abood:

$$X_f = \frac{1600000}{3766000} = 0,42$$

$$X_p = \frac{534000}{3766000} = 0,14$$

$$X_{hcs} = \frac{0,42 + 2,6 \times 0,14}{2,5} = 0,31$$

Gunarso et al. (2013) haben ebenfalls Angaben zur Ausbreitung von Palmölplantagen gemacht. Hier wird zwischen verschiedenen Kategorien der Landnutzung differenziert. Für die Berechnungen wurden die Kategorien „undisturbed upland forest“ und „disturbed upland forest“ zusammengefasst, sowie die Kategorien „Undisturbed Swamp Forest, Disturbed Swamp Forest und Swamp Shrub & Grasslands“. Die Berechnungen führen ebenfalls zu Ergebnissen, die über der 10%-Grenze liegen. Einschränkend muss hier erwähnt werden, dass es sich um keine Quelle handelt, welche einem peer-review unterzogen wurde. Veröffentlicht wurde unter: Reports from the Technical Panels of the 2nd Greenhouse Gas Working Group of the Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO).

Neben Indonesien sind auch andere Länder, wie beispielsweise Thailand, von einem Zuwachs von Palmölplantagen auf Moorflächen betroffen. Allerdings kommen die zwei hier genannten Studien, welche als Untersuchungsgegenstand die Entwicklung der Palmölplantagen in Thailand haben, zu unterschiedlichen Ergebnissen. Während Srisunthon und Chawchai (2020) zu dem Ergebnis kommen, dass es sich um eine bedeutende Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand handelt, weist die Studie von Saswattecha et al. (2016) wesentliche geringere Werte auf. Bei einer Interpretation ist zu berücksichtigen, dass beide Studien verschiedene Untersuchungsgebiete zugrunde legen.

Weitere Studien zu den Entwicklungen des Palmölplantagenanbaus liegen aktuell vor. Teilweise wird auch hier ein Blick auf die Entwicklung in Bezug auf Moorflächen geworfen (Cooper et al., 2020; Monzon et al., 2021; Purnomo et al., 2020; Utari et al., 2021). Allerdings sind diese nicht geeignet für eine Berechnung nach Vorgaben der EU-Kommission. Um das Berechnungsmodell der EU-Kommission anwenden und den Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand messen zu können, werden, neben den oben genannten Kriterien, folgende Angaben benötigt:

- ein definierter Zeitraum, in welchem Veränderungen der Anbauflächen beobachtet wurden (im Idealfall sollte als Referenzjahr das Jahr 2008 herangezogen werden)
- der Anteil des Flächenzuwachses von Palmölplantagen auf Waldflächen am gesamten Flächenzuwachs der Palmölplantagen
- der Anteil des Flächenzuwachses von Palmölplantagen auf Moorgebiet am gesamten Flächenzuwachs der Palmölplantagen

Viele Autoren erwähnen die Problematik, der Entwicklung von Palmölplantagen auf Moorflächen, wie beispielsweise Utari et al. (2021). Diese haben als Untersuchungsgegenstand ein Gebiet im südlichen Sumatra (Indonesien), welches hauptsächlich von Moorfläche bedeckt ist. Zwischen 2014 und 2019 hat die Fläche der

Palmölplantagen in diesem Gebiet von 66.588 ha auf 121.872 ha um 83% zugenommen. Sinnvoll berechnen lässt sich mit diesen Angaben die Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand nicht, da sich lediglich auf Anbauflächen auf Moorflächen, nicht aber auf Anbauflächen auf Waldflächen fokussiert wurde. Dennoch sprechen die Ergebnisse dieser Studie ebenfalls dafür, dass es eine bedeutende Ausweitung von Palmölplantagen auf Moorflächen gibt.

Die Studie von Cooper et al. (2020) über die Anpflanzung von Ölpalmen auf Torfmoorland zeigt, dass nach der Umwandlung große Mengen an CO₂- und N₂O-Emissionen entstehen, während die CH₄-Emissionen geringer sind. Die CO₂-Emissionsflüsse sind in der Entwässerungsphase am größten, während die N₂O-Emissionen in jungen Ölpalmenplantagen am höchsten waren. Gerade in Bezug auf den erhöhten Ausstoß von Treibhausgasen wird der Anbau von Palmölplantagen auf Moorflächen diskutiert. Schätzungen zufolge verursacht die Umwandlung von Moorflächen zu Palmölplantagen zwischen 16,6% und 27,9% der gesamten CO₂-Emissionen von Malaysia und Indonesien. Dies entspricht einem Wert von 0,44% bis 0,74% der weltweiten CO₂-Emissionen (Cooper et al., 2020).

Die Trockenlegung von tropischen Torfsumpfwäldern zugunsten einer Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen hat erhebliche Auswirkungen auf den Ausstoß von Treibhausgasen (THG); allerdings ist das Ausmaß dieser Veränderungen nach wie vor unklar. Die derzeitigen Emissionsmengen des Palmölanbaus, die auf trockengelegten Moorflächen angebaut werden, variieren je nach zeitlicher Erfassung im Lebenszyklus der Plantagen und sie berücksichtigen in den meisten Fällen auch nur die CO₂-Emissionen. In ihrer Untersuchung stellen Cooper et al. (2020) eine der wenigen direkten Messungen der Treibhausgasemissionen vor, die bei der Umwandlung von Moorwäldern in Palmölplantagen auftreten. Neben CO₂- werden auch CH₄- und N₂O-Emissionen berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Emissionsfaktoren für umgewandelten Torfsumpfwald im Bereich von 70-117 t CO₂ eq pro ha und Jahr (95% Konfidenzintervall) liegen, wobei CO₂ und N₂O für ca. 60% und resp. ca. 40% dieses Wertes ausmachen. Diese gemessenen THG-Emissionen deuten darauf hin, dass die Umwandlung südostasiatischer Moorwälder zwischen 16,6 und 27,9% (95% Konfidenzintervall) der gesamten nationalen THG-Emissionen von Malaysia und Indonesien oder 0,44% und 0,74% (95% Konfidenzintervall) der jährlichen globalen Emissionen ausmachen.

Zusammenfassend zeigt die Studie, dass die Klimaauswirkungen der Umwandlung von tropischem Torfmoorland in Ölpalmenplantagen in den frühen Entwicklungsphasen der Plantagen am größten sind. Dies zeigt, dass ein einfacher Vergleich zwischen Wald und ausgewachsenen Palmölplantagen die Emissionen während des gesamten Zyklus der Ölpalmenplantagen nicht angemessen berücksichtigt. Die Erkenntnisse zeigen auch, dass das Risiko und damit das Ausmaß der THG-Emissionen bei Landnutzungsänderungen, je nach Messzeitpunkt erheblich schwanken kann. Doch was würden diese Emissionen aus Landnutzungsänderungen für Biokraftstoffe aus Palmöl bedeuten? Bei einem typischen Palmölertrag von 3,8 Tonnen pro Hektar könnte ein Hektar Land jedes Jahr genug Palmöl-Biodiesel produzieren, um zwölf Tonnen Kohlendioxidemissionen aus der Dieselverbrennung

zu vermeiden, während beim Anbau und der Produktion fünf Tonnen Kohlendioxid entstehen (bzw. acht Tonnen, wenn das Methan nicht abgeschieden wird). Lässt man die Kohlenstoffkosten der Landnutzung außer Acht, beträgt der Nettokohlenstoffnutzen also fünf bis sieben Tonnen Kohlendioxid pro Hektar und Jahr.

Berücksichtigt man jedoch die Landnutzung, so ändert sich das Bild drastisch. Würde der Palmöl-Biodiesel aus einer neuen Plantage auf zuvor bewaldetem Torfmoorland stammen, würde statt einer Kohlenstoffeinsparung ein dramatischer Anstieg der geschätzten Nettoemissionen von 120 Tonnen Kohlendioxid pro Hektar und Jahr eintreten. Palmöl auf abgeholzten Mineralböden würde ebenfalls zu einem dramatischen Anstieg der Kohlendioxidemissionen führen, die auf 24 Tonnen Kohlendioxid pro Hektar und Jahr geschätzt werden.

Während die meisten Landnutzungsänderungen zu einem Anstieg der Emissionen führen, sind aber auch hierfür differenzierte Betrachtungen anzustellen. Palmölplantagen speichern zwar viel weniger Biomasse-Kohlenstoff als Primärwälder oder sogar degradierte Tropenwälder, aber eben auch mehr Kohlenstoff als andere landwirtschaftliche Systeme (z. B. in den Palmstämmen). Würde Palmöl für Biodiesel vollständig auf degradiertem Grasland produziert werden, würde sich der Nettonutzen auf vierzehn Tonnen Kohlendioxid pro Hektar und Jahr erhöhen. Die Herausforderung für die Politik besteht nun darin, die Ausweitung der Palmölproduktion in diese Gebiete zu lenken, anstatt in Ökosysteme mit hohem Kohlenstoffbestand.

Insgesamt geben die hier aufgeführten wenigen Studien Auskunft über die Entwicklung von Palmölplantagen sowohl auf Moorflächen, als auch auf Waldflächen. Allerdings ist nur mit Angabe dieser Informationen eine Berechnung des Anteils der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand möglich, um so auf eine bedeutende Ausweitung schließen zu können. Diese Voraussetzungen sind bedauerlicherweise im überwiegenden Teil der in der Analyse verwendeten Studien nicht gegeben.

5 Methoden zur Erfassung von Landnutzungsänderungen

Zahlreiche wissenschaftlichen Studien zu indirekten Landnutzungseffekten und zur THG-Bilanzierung der Ölsaatenproduktion arbeiten methodisch mit Wirkungsanalysemodellen. Unsere Untersuchung erkennt vor allem vier Modellierungsverfahren, die in die politischen und wirtschaftlichen Analysen und Debatten um die Bewertung von direkten und indirekten Landnutzungsänderungen (ILUC) eingehen. Diese Methoden werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Aussagekraft bewertet.

5.1 Systemdynamische Modellierung

Der systemdynamische Modellierungsansatz wird auf die Wertschöpfungskettenanalyse (Value Chain Analysis - VCA) als Zustandsänderungsmodell (dynamisch) angewendet. Die systemdynamische Modellierung wird in mehreren Schritten umgesetzt, wobei die Entwicklung eines konzeptionellen Modells, die Spezifikation der Variablen, die Modellüberprüfung und die Erstellung von Szenarien umfasst. Hinzu kommt die VCA, die aus den folgenden drei Schritten besteht: (1) Kartierung des Beginns der Wertschöpfungskette; (2) Durchführung einer Feldstudie; und (3) Auswertung der Ergebnisse und Entwicklung von Interventionsszenarien.

Stellvertretend für den Aufbau derartiger Wirkungsmodelle, wird die aktuelle Modellierung aus der Studie von Purnomo et al. (2020) für die indonesische Palmölproduktion herangezogen. Um die Wirkung verschiedener Politikeinflüsse auf die Entwicklung der Palmölproduktion aufzuzeigen, entwickeln die Autoren ein sogenanntes Palmöl-Simulationsmodell (IPOS) mit drei Hauptkomponenten: (1) Darstellung der Palmöl-Wertschöpfungskette, (2) Formulierung mehrerer politischer Entwicklungsszenarien und (3) die Formulierung von Output-Indikatoren zur Bewertung der Ergebnisse der einzelnen Politikszenerarien. Mit diesem Modell sollen die Auswirkungen wichtiger aktuell diskutierter politischer Maßnahmen im Palmölanbau untersucht werden, um daran anschließend künftige politische Optionen zu entwickeln. Für jede Politikmaßnahme wird ein Szenario formuliert, das bezüglich des Ziels einer nachhaltigeren Palmölproduktion die Auswirkungen der Politikänderung auf die Akteure der Wertschöpfungskette quantifiziert.

Die Palmöl-Wertschöpfungskette besteht aus Plantagen, Palmölmühlen, Raffinerien und Märkten. Die Erzeuger produzieren frische Palmölbündel (FFB – Fresh Food Bundle), die von den Mühlen zu rohem Palmöl (CPO – Crude Palm Oil) und Palmkernöl (PKO – Palm Kernel Oil) verarbeitet werden. Diese werden in Raffinerien zu Speiseöl, ölhaltigen Chemikalien und Biodiesel verarbeitet. Diese Produkte gelangen auf die inländischen und globalen Märkte und generieren Einnahmen, die an die Raffinerien, Mühlen, Produzenten und die Regierung zurückfließen.

Das IPOS-Modell generiert für die gewählten politischen Eingriffsszenarien verschiedene Konsequenzen, die z.B. in der Veränderung der Flächennutzung durch Ölpalmenplantagen (ha), der Produktionsmengenänderung von Primärprodukten wie FFB und CPO/PKO sowie von Derivaten wie Speiseöl und Biodiesel zum Ausdruck kommen. Für jede Wertschöpfungsstufe werden die THG-Emissionen und der Arbeitsaufwand als Kosten- und Erlösponente ermittelt. In der vorliegenden Studie wurden vier politische Szenarien untersucht: (1) ein Moratorium für die Ausweitung von Plantagen, (2) der Schutz von Feuchtgebieten, (3) eine grundlegende Agrarreform und (4) das Verbot der Biodieselherstellung.

Die Daten in diesem Modell stammen aus empirischen Erhebungen, offiziellen Quellen (z. B. Ministerien und Behörden der Zentralregierung, lokale Regierungen), Forschungseinrichtungen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Das Modell versucht, sich realen Szenarien anzunähern, indem die Daten mit Hilfe einer systemdynamischen Software (Stella 9.0) verarbeitet werden.

Weiterhin verwendet das Modell exogene und endogene Variablen. Exogene Variablen (z. B. Landnutzung, Plantagenfläche, politische Maßnahmen und Palmölpreis) sind unabhängig und beeinflussen das Modell, ohne vom Modell selbst beeinflusst zu werden, während endogene Variablen (z. B. Palmölangebot und Mengeneffekte auf den Stufen der Wertschöpfungskette, Beschäftigung und CO₂-Emissionen) werden vom Modell selbst erzeugt. Der Preis von Palmöl wird durch das geschätzte Angebot an Palmöl und anderen Pflanzenölen von internationalen Produzenten wie Malaysia und Brasilien sowie durch die Verbrauchernachfrage bestimmt.

5.2 Allgemeine und partielle Gleichgewichtsmodelle

Eine zweite Gruppe von Wirkungsmodellierungen sind die partiellen und allgemeinen Gleichgewichtsmodelle. Diese Modellgruppe versucht, im globalen oder sektoralen Maßstab die Klimaauswirkungen einer Biokraftstoffpolitik zu quantifizieren und möglichst vollständig zu messen. Die Erkenntnisse derartiger Studien sollen politischen Entscheidungsträgern eine Unterstützung über künftige Biokraftstoffpolitik bieten und die Auswirkungen von Landnutzungsänderungen deutlich aufzeigen.

Ausgangsüberlegungen sind dabei die grundsätzlich möglichen Landnutzungsänderungen, die sich bei einem Anstieg des Biokraftstoffverbrauches mit einer Ausweitung der Anbauflächen ergeben. Dabei wird zwischen direkten und indirekten Änderungen unterschieden:

- Direkte Landnutzungsänderungen (DLUC) ergeben sich, wenn neue Anbauflächen für die Produktion von Biokraftstoff-Rohstoffen geschaffen werden;
- Indirekte Landnutzungsänderungen (ILUC) entstehen dann, wenn bestehende Anbauflächen für die Produktion von Biokraftstoff-Rohstoffen genutzt werden und dadurch Lebensmittel, Futtermittel und biobasierte Rohstoffe auf bisher nicht genutzten Anbauflächen produziert werden müssen.

Direkte und indirekte Landnutzungsänderungen sind in der Realität auf vielfältige Weise miteinander verknüpft. Die Verwendung der genannten Modelle versucht nun, die vielfältigen Beziehungen, insbesondere die Wirkungen globaler Marktmechanismen mit ihren zahlreichen direkten und indirekten Landnutzungseffekten möglichst vollständig zu erfassen und die Zusammenhänge zu modellieren. Dabei wird berücksichtigt, dass sich zahlreiche Effekte nur unvollständig messen lassen und dass direkte Messungen nur einen Teil der Gesamtauswirkungen erfassen können.

5.2.1 Allgemeine Gleichgewichtsmodelle - Computable General Equilibrium Models (CGEs)

Um die Effekte einer Politikänderung auf die Entwicklung zum Beispiel der Nachhaltigkeit zu untersuchen, wird nach umfassenden und verlässlichen Analysen gesucht, die Politik-induzierte Trade-offs und Interaktionen zwischen ökonomischen, umwelt- und sozialen Entwicklungskomponenten am geeignetsten bewerten.

Man sucht in unserem Zusammenhang nach sogenannten Sustainability Impact Assessment (SIA)-Studien. Für diese Studien stehen keine Standard-Werkzeuge oder Methoden zur Verfügung, allerdings eine Mischung aus verschiedenen Ansätzen und Modellen mit interdisziplinärer Ausrichtung.

Hierunter fallen die als Allgemeine Gleichgewichtsmodelle bezeichneten Verfahren. Die sogenannten CGE-Modelle (Computable General Equilibrium Modelle) beruhen auf der Theorie des Allgemeinen Gleichgewichts (General Equilibrium), die sich auf die Konzepte der Marktlösung und der neoklassischen mikroökonomischen Optimierung unter der Verhaltensannahme eines rational entscheidenden Akteurs stützen. Der mikroökonomische Untersuchungsansatz mit makroökonomischen Elementen kombiniert, mit dem Ziel, die sozialen und umweltrelevanten Phänomene und Wirkungen zu erklären.

Der Allgemeine-Gleichgewichtsansatz von CGE Modellen wird mit dem Argument kritisiert, dass ein stabiles Marktgleichgewicht niemals zu erreichen sein wird, da die Gesellschaft durch Instabilitäten gekennzeichnet ist und stets sich in einem nicht-endenden Veränderungsprozess mit dynamischen Ungleichgewichtskräften befindet. Aber es ist nicht nur die ökonomische Theorie, die die Nutzungsfähigkeit von CGE-Modellen in Frage stellt, es sind auch die in den Modellen verwendeten Daten. So werden in vielen Fällen Jahresdaten (mit statischem Charakter) verwendet, die als nicht falsifizierbar betrachtet werden. CGE-Modelle ignorieren Zeitreihen-Daten und verzichten auf die Modellierung von langfristigen Entwicklungen, wie zum Beispiel der Modellierung von Einkommens-, Preis- und Technologieveränderungen. Modellierungen, die auf Gleichgewichtslösungen basieren, sind gewöhnlich weniger gut geeignet um Anpassungsprozesse oder -pfade angemessen abzubilden.

CGE-Modelle fokussieren sich auf Gleichgewichtspositionen und sind deshalb typischerweise nicht geeignet Veränderungs- und Anpassungsprozesse angemessen abzubilden. Die dynamischen Ansätze in manchen CGE-Modellen repräsentieren keine Dynamiken im eigentlichen Sinne, sondern sind eher als komparativ-statische Betrachtungen zu verstehen, die eine Serie von jährlichen Schnappschüssen auf Basis perfekter makroökonomischer Stabilität darstellen.

CGE-Modelle sind typischerweise dafür konstruiert, eher Aggregatbetrachtungen zu gewährleisten. Dabei sind viele Umweltprobleme eher lokaler Natur und Relevanz. Diese Konsequenzen werden durch die CGE-Modelle nicht angemessen eingefangen. Bei aller Kritik offenbaren Gleichgewichtsmodelle dennoch interessante Einsichten in ein mögliches Ausmaß der formulierten und zu überprüfenden Politikeffekte.

Ein populäres Modell der allgemeinen Gleichgewichtsmodelle ist das GTAP-Modell. Das Modell ist aus dem Global Trade Analysis Project (GTAP) hervorgegangen, einem globalen Netzwerk von Forschern und politischen Entscheidungsträgern, die quantitative Analysen zu internationalen politischen Themen durchführen. Das ursprüngliche GTAP-Modell ist in Hertel (1997) mit einer ausführlichen Diskussion der Theorie und der Ableitung der Verhaltensgleichungen, die in das Modell einfließen, dokumentiert. GTAP ist ein allgemeines Gleichgewichtsmodell (Computable General Equilibrium, CGE) mit mehreren Gütern und Regionen, das wirtschaftliche Aktivitäten (einschließlich Anbau und Vermarktung von Kulturpflanzen, Viehzucht, Lebensmittel- und Futtermittelproduktion) auf globaler Ebene modelliert (s. dazu auch Taheripour et al., (a) 2019 und (b) 2019).

Bezogen auf die Erfassung möglicher Landnutzungseffekte beginnt jeder Modellprozessschritt mit der Erstellung einer Karte der globalen agrarökologischen Zonen (GAEZ), die sowohl administrative als auch agrarökologische Informationen zu einzelnen Produktionsregionen beinhalten. Um die Herausforderungen zu verstehen, die sich aus der Erreichung ökologischer Nachhaltigkeitsziele angesichts der künftigen Nachfrage nach Nahrungsmitteln, Nicht-Nahrungsmitteln und Brennstoffen ergeben, sind Wirtschaftsmodelle und Datenbanken erforderlich, die räumlich explizite Informationen über Landnutzung und Bodenbedeckung (LULC) enthalten. Die GTAP LULC-Datenbank und ihre Varianten wurden in einer Vielzahl von Anwendungen zur Untersuchung des Land-Umwelt-Energie-Nexus umfassend genutzt.

GTAP-BIO Modell und sein Hintergrund

Ähnlich wie das GTAP-Standardmodell bildet GTAP-BIO die Produktion, den Verbrauch und den Handel aller Waren und Dienstleistungen (aggregiert in verschiedenen Kategorien) auf globaler Ebene ab (siehe hierzu Taheripour et al., 2019(a) und 2019(b)). Im Gegensatz zum Standardmodell differenziert GTAP-BIO jedoch Ölpflanzen und pflanzliche Öle in mehrere Subkategorien, wie Sojabohnen, Raps, Palmölfrüchte auf der Ebene der Ölpflanzen, bei den Ölfractionen zwischen Soja-, Raps- und Palmöl, und anderen Ölen und Fetten, bei der Proteinfraction zwischen Soja-, Raps- und Palmkernmehl. Zusätzlich zu den Standardgütern und -dienstleistungen werden auch die Produktion und der Verbrauch von Biokraftstoffen (zum Beispiel Maisethanol, Zuckerrohrethanol und Biodiesel) und deren Nebenprodukte in die

Modellierung eingebaut. Im Gegensatz zum GTAP-Standardmodell berücksichtigt das GTAP-Bio Modell die Verwendung von Rohstoffen für Nahrungsmittel und Kraftstoffe, sowie den Wettbewerb beziehungsweise die Zielkonflikte zwischen den möglichen Marktverwendungen. Das Modell ist daher in der Lage, die Märkte für Ölpflanzen, andere Pflanzen, pflanzliche Öle und Mehle, die mutmaßlich mit pflanzlichen Ölen hergestellt werden, abzubilden. Darüber hinaus verfolgt es die Landnutzung (und Veränderungen der Landpreise) weltweit auf der Ebene der agroökologischen Zonen (AEZ). Die neueste Version dieses Modells berücksichtigt auch die Intensivierung der pflanzlichen Erzeugung aufgrund des technischen Fortschritts, den Mehrfachanbau und die Umwandlung ungenutzter Anbauflächen in die pflanzliche Erzeugung. Schließlich wurden die Parameter des Modells an die jüngsten Beobachtungen angepasst. Das Modell zeichnet die Verbindungen zwischen den Sektoren Ackerbau, Viehzucht, Futtermittel und Lebensmittel nach und verknüpft sie mit den Biokraftstoffsektoren, wobei Vorwärts- und Rückwärtsverknüpfungen zwischen diesen Sektoren und anderen Wirtschaftsaktivitäten berücksichtigt werden. Dieses Modell berücksichtigt auch Ressourcenbeschränkungen und technologischen Fortschritte. Daher bietet es einen umfassenden Rahmen zur Bewertung der Auswirkungen einer Beschränkung zum Beispiel der Palmölproduktion.

Im Allgemeinen verwendet das GTAP-BIO Modell Nachfrage- und Angebotsfunktionen und Marktausgleichsbedingungen, um die Produktion und den Verbrauch von Waren/Dienstleistungen (einschließlich Biokraftstoffen) und deren Preise endogen zu bestimmen. In diesem Modell sind Nachfrage und Angebot Funktionen relativer Preise und exogener Variablen (z. B. Verbrauchssteuern oder Produktionssubventionen). Es ist jedoch möglich, die Produktion und/oder den Verbrauch von Gütern und Dienstleistungen auch exogen zu bestimmen, wenn zum Beispiel die Auswirkungen verbindlicher Verpflichtungen einer Biokraftstoffbeimischung zu untersuchen wären.

5.2.2 Partielle Gleichgewichtsmodelle - (GLOBIOM)

In den Wirtschaftswissenschaften spricht man von einer partiellen Gleichgewichtsanalyse, wenn man nur den Markt oder Sektor betrachtet, der direkt betroffen ist. Wirtschaftliche Verflechtungen mit der Gesamtwirtschaft oder anderen Sektoren werden nicht berücksichtigt. Eine partielle Gleichgewichtsanalyse ignoriert dabei entweder den Effekt auf anderen Industrien der Wirtschaft oder nimmt an, dass der behandelte Sektor sehr klein ist und daher keinen signifikanten Einfluss auf andere Industrien oder Sektoren hat. Die partielle Gleichgewichtsanalyse unter Verwendung von partiellen Gleichgewichtsmodellen zur Wirkungsanalyse ist dann ausreichend, wenn die Rückwirkungen von anfänglichen Maßnahmen so gering sind, dass man sie vernachlässigen kann, ohne damit die Analyse zu verfälschen. Unter diesen Umständen kann die partielle Gleichgewichtsanalyse gute Annäherungswerte für künftige Entwicklungen bringen.

GLOBIOM ist ein derartiges partielles Gleichgewichtsmodell, das nur land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse einbezieht - andere wichtige Bodennutzungen wie die Urbanisierung sind nicht Teil der Modellierung.

GLOBIOM (Global Biosphere Management Model) wurde vom Internationalen Institut für angewandte Systemanalyse (IIASA) entwickelt und wird seit Ende der 2000er Jahre verwendet. Das partielle Gleichgewichtsmodell bildet die wichtigsten Landnutzungssektoren ab, einschließlich Land- und Forstwirtschaft. Die Angebotsseite des Modells ist von der landwirtschaftlichen Produktion (räumlich explizite Bodenbedeckung, Bodennutzung, Bewirtschaftungssysteme und wirtschaftliche Kosteninformationen) bis zur Vermarktung (regionale Rohstoffmärkte) aufgebaut. Diese detaillierte Struktur ermöglicht es, eine Vielzahl von ökologischen und sozioökonomischen Parametern zu berücksichtigen.

Die Angebotsseite des Modells wird für hoch aufgelöste Produktionsgebiete (5 bis 30 Bogenminuten große Pixel), die als Simulationseinheiten zu identischen Höhen-, Hang- und Bodenklassen für einzelne Länder zusammengefasst werden, räumlich abgebildet. Für Pflanzen, Vieh und Forstprodukte werden räumlich explizite Leontief-Produktionsfunktionen, die alternative Produktionssysteme abdecken, mit biophysikalischen Modellen parametrisiert.

GLOBIOM erfasst die wichtigsten Treibhausgasemissionen aus der Land- und Forstwirtschaft und der sonstigen Landnutzung (AFOLU) auf der Grundlage der IPCC-Bilanzierungsrichtlinien, einschließlich N₂O aus der Ausbringung von Kunstdünger und Gülle auf Böden, N₂O aus der Ausbringung von Gülle auf Weiden, CH₄ aus dem Reisanbau, N₂O und CH₄ aus der Güllebewirtschaftung und CH₄ aus der enterischen Fermentation sowie CO₂-Emissionen und -Entfernungen aus ober- und unterirdischen Biomasseveränderungen für andere natürliche Vegetation. Die CO₂-Emissionen durch Aufforstung, Entwaldung und Holzproduktion in bewirtschafteten Wäldern werden mit einem geografisch expliziten Modell G4M geschätzt, das mit GLOBIOM verbunden ist. Darüber hinaus stellt GLOBIOM endogen die Technologien zur Abschwächung des Klimawandels dar, einschließlich technologischer und struktureller Abschwächungsoptionen.

Rohstoffmärkte und internationaler Handel werden auf der Ebene von 37 aggregierten Wirtschaftsregionen modelliert, wobei die Preise endogen auf regionaler Ebene bestimmt werden, um ein Marktgleichgewicht herzustellen. Der Handel wird nach dem Konzept des räumlichen Gleichgewichts auf der Grundlage der Kostenwettbewerbsfähigkeit und der Annahme homogener Güter modelliert, was eine Verfolgung der bilateralen Handelsströme zwischen einzelnen Regionen ermöglicht. Neben den Primärprodukten für die verschiedenen Sektoren enthält das Modell mehrere End- und Nebenprodukte, für die die Verarbeitungsaktivitäten definiert sind. Das Modell berechnet ein Marktgleichgewicht für land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse, indem es die Flächennutzung auf die Produktionstätigkeiten aufteilt, um die Summe der Erzeuger- und Verbraucherüberschüsse zu maximieren, und zwar unter Berücksichtigung von Ressourcen-, Technologie-, Nachfrage- und politischen Beschränkungen. GLOBIOM erfasst die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Systemen, die an der Bereitstellung von land- und forstwirtschaftlichen

Erzeugnissen beteiligt sind, z. B. die Bevölkerungsdynamik, Veränderungen der sozioökonomischen und technologischen Bedingungen, der Ökosysteme und des Klimas, die zu Anpassungen des Produktmixes und der Nutzung von Land und anderen produktiven Ressourcen führen. Das Modell wird rekursiv-dynamisch gelöst und kann Projektionen bis zum Jahr 2100 liefern.

Eine GLOBIUM-Modellierung folgt den allgemeinen Grundsätzen der ILUC-Modellierung, die in einer Reihe von Studien verwendet wurden, in denen eine "Welt mit zusätzlichen Biokraftstoffen" (das politische Szenario) mit der gleichen Welt verglichen wird, "wie sie sich ohne die zusätzlichen Biokraftstoffe entwickelt hätte" (die sogenannte Basislinie).

Eine dieser Simulationen wird in der jüngsten Studie des Konsortiums Ecofys, IIASA und E4tech verwendet (Valin et al., 2015). Die politischen Szenarien basieren auf der Richtlinie der Europäischen Union über erneuerbare Energien (RED II). Die berechnete ILUC-Auswirkung der zusätzlichen Biokraftstoffe ergibt sich aus der Differenz zwischen den Emissionen in den Politikszenerarien und denen der Basislinie. Diese Differenz wird dann der zusätzlichen Biokraftstoffnachfrage in den politischen Szenarien zugeschrieben. Aus der Modellierung geht nicht hervor, inwieweit die Landumwandlung direkt oder indirekt verursacht wird. Aus diesem Grund wird in dieser Studie von "LUC-Werten" statt von "ILUC-Werten" und von "Landnutzungsänderungen" statt von "direkten oder indirekten Landnutzungsänderungen" gesprochen.

Als wichtigste Ergebnisse aus dieser Modellierung (Valin et al., 2015) sind festzuhalten:

- (1) Konventionelle Biodiesel-Rohstoffe haben hohe LUC-Effekte im Vergleich zu den direkten Emissionen aus dem Biokraftstoff-Produktionsprozess, mit sehr hohen Emissionen für Palmöl (231 Gramm CO₂ eq pro verbrauchtem Megajoule Biokraftstoff – g CO₂ eq/MJ), hohen Emissionen für Sojaöl (150 g CO₂ eq/MJ) und 63 bzw. 65 g CO₂ eq/MJ für Sonnenblumen und Raps;
- (2) Die Entwässerung von Torfmoorflächen in Indonesien und Malaysia spielt eine große Rolle bei den LUC-Emissionen für Pflanzenöle. Dies gilt insbesondere für Palmöl: 69% der Brutto-LUC-Emissionen für Palmöl werden durch die Oxidation von Torfmooren nach der Landumwandlung verursacht;
- (3) Die große und lokale Emissionsquelle der Torfmooroxidation wirkt sich durch den Substitutionseffekt auf die LUC-Werte anderer Pflanzenöle aus, wobei die Pflanzenöle bis zu einem gewissen Grad austauschbar sind. Auf der Grundlage empirischer Daten vermuten die Autoren einen relativ begrenzten Substitutionseffekt, daher der große Unterschied in den LUC-Werten für Palmöl - dem kostengünstigsten Pflanzenöl – gegenüber anderen höherpreisigen Pflanzenölen. Demnach wird unterstellt, dass dieser, wenn auch kleine, Substitutionseffekt einen Teil der Torfmooremissionen von der Palmölproduktion auf andere Pflanzenöle überträgt;
- (4) Die konventionellen Ethanol-Rohstoffe - Zucker und Stärke - haben wesentlich geringere LUC-Emissionswirkungen: 14 und 34 g CO₂ eq/MJ Biokraftstoffverbrauch für Mais und Weizen, 17 g CO₂ eq/MJ für Zuckerrohr und 15 g CO₂ eq/MJ für Zuckerrüben. Diese

Rohstoffe tragen im Vergleich zu Pflanzenölen in viel geringerem Maße zur THG-Emissionen von Torfmoortrockenlegungen und zur Entwaldung bei.

Die Modellierung mit dem GLOBIOM-Modell führt zu einigen Kritikpunkten:

1. Es fehlt an vollständiger Transparenz über die den Berechnungen zugrundeliegenden Daten des GLOBIOM-Berichts. Es sind nur ausgewählte Daten verfügbar und für zahlreiche Abbildungen liegen nur verdichtete Daten zugrunde, wobei die Ausgangsdaten fehlen.
2. Die Ergebnisse für Biodiesel aus Raps und Sonnenblumen zeigen, dass das Modell den europäischen Markt vom Weltmarkt isoliert. In der Tat zeigen die ausgewiesenen Preisschwankungen für dasselbe Öl große Unterschiede zwischen dem europäischen Markt und dem Weltmarkt.
3. Im GLOBIOM-Bericht werden die Verbundeffekte zwischen Ölproduktion und Eiweißfuttermittelgewinnung und den daraus sich ergebenden abgeschwächten indirekten Landnutzungseffekte nicht ausreichend erwähnt. Die folgenden Beispiele belegen die Schwächen der Ergebnisse:
 - Die Bedeutung von Protein-Nebenprodukten aus Biokraftstoff-Rohstoffen, die teilweise andere Rohstoffe in der Tierernährung - Getreide oder andere Proteinmehle ersetzen, werden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.
 - Nachfrageverschiebungen zugunsten einer größeren Nachfrage nach Biokraftstoff, die zu einem allgemeinen Preisanstieg bei landwirtschaftlichen Erzeugnissen, werden aufgezeigt. Dagegen bleibt unberücksichtigt, dass diese Nachfrageverschiebungen bei der Eiweißfraktion der Ölsaaten durch deren Verbundproduktion tendenziell zu rückläufigen Preisen führen würden. Auf Berechnungen von entsprechenden Kreuzpreiselastizitäten wird verzichtet.

Das GLOBIOM-Modell zeigt dagegen das umgekehrte Phänomen:

- Sowohl für Sojabiodiesel als auch für Raps und Sonnenblumen führt der Nachfrageschock zu einem Anstieg des Verbrauchs von Fleisch und Milch. Bei Sojabiodiesel steigt der Verbrauch von tierischen Erzeugnissen um 0,15%, während bei Raps- und Sonnenblumen-Biodiesel der Verbrauch von tierischen Erzeugnissen sowie der Verbrauch von Getreide um 1 Mio. Tonnen ansteigt.
4. Die Ertrags-/Preiselastizität ist für die ILUC von grundlegender Bedeutung: Sie bestimmt die Aufteilung zwischen zusätzlichen Flächen und Ertragssteigerungen, um die zusätzliche Produktion zu liefern, die zur Deckung einer zusätzlichen Nachfrage nach Biokraftstoffen erforderlich ist. Offensichtlich ist die Ertrags-/Preiselastizität im GLOBIOM-Modell niedrig und führt dazu, dass das Modell eher eine Erhöhung der Flächen als der Erträge bevorzugt. Mögliche Ertragssteigerung und somit Produktivitätsverbesserungen werden weitaus geringer angesetzt, als die erwarteten Flächenzunahmen bei Erhöhung der Nachfrage nach Biodiesel:

- Sojabohnen: +82% Fläche, +18% Erträge;
- Raps: +80% Fläche, +20% Erträge;
- Weizen: +83% Fläche, +17% Ertrag.

Dies steht im Widerspruch zum Referenzszenario von GLOBIOM, bei dem die Entwicklung der Produktion (+70% zwischen 2000 und 2030) nur eine Zunahme der Flächennutzung um 11,1% bewirkt. Das bedeutet, dass 84,3% der zusätzlichen Produktion durch Produktivitätsverbesserungen und 15,7% durch zusätzliche Anbauflächen bereitgestellt wurden - genau das Gegenteil von dem, was das Modell im Hinblick auf Biokraftstoffe simuliert

Die meisten Studien über indirekte Landnutzungsänderungen kommen zu dem Ergebnis, dass Palmöl die höchsten Landnutzungsänderungsemissionen unter den Biodiesel-Rohstoffen aufweist, weisen aber auch anderen Pflanzenölen erhebliche Emissionen zu. Es ist auch zu beachten, dass aufgrund der Verknüpfung des globalen Pflanzenölmarktes ein Anstieg der Nachfrage nach anderen Pflanzenölen einen indirekten Anstieg der Palmölnachfrage zur Folge hat, so dass die Entwaldung und Trockenlegung von Torfmoorflächen in Südostasien ebenfalls zu den berechneten Emissionen aus Landnutzungsänderungen für die anderen Öle beitragen.

Es ist jedoch ebenso wichtig zu verstehen, dass Emissionen aus Landnutzungsänderungen in vielen Regionen auftreten und dass die Abholzung der tropischen Wälder nicht die einzige Quelle ist. Selbst wenn man die Verbindung zum Palmölmarkt ignorieren würde, würden die Analysen mit MIRAGE und GLOBIOM immer noch relativ hohe indirekte Emissionen aus Landnutzungsänderungen für Soja-, Raps- und Sonnenblumenöl ergeben. Die in der Tabelle dargestellten Ergebnisse zeigen aber auch die erheblichen Unterschiede in den Analyseergebnissen der einzelnen Modellberechnungen.

Übersicht 4: Ergebnisse zu indirekten Landnutzungsänderungen für Palmöl-Biodiesel (Zusammenfassung)

Modell und Studie	Peat emissions factor (t CO ₂ eq/ha/yr)	Fraction of expansion on peat	Land use change emissions (g CO ₂ eq/MJ)
GLOBIOM	61	-33%	231
IFPRI MIRAGE (2011)	55	30%	54
IFPRI MIRAGE (2010)	19	-19%	50
CARB	95	50%	83
US EPA	95	11,5%	58
US EPA (adjusted)	95	33%	102

Quelle: Malins (2017)

5.3 Bewertung der Modellkonzepte

Unbestritten ist, und das findet sich auch in den vielen Modellierungsanwendungen immer wieder, dass es bei einem Anbau von Bioenergiepflanzen zu Verdrängungseffekten zwischen unterschiedlichen Agrarregionen und Landnutzungssystemen kommen kann. Wie die bisher vorliegenden Ergebnisse gezeigt haben, ist diese Entwicklung für einzelne Regionen durchaus zu beobachten.

Diese Beobachtungen und konkreten Ergebnisse treffen insbesondere auf die direkten Landnutzungsänderungen (dLUC), wie etwa die Umwandlung von Grasland in Ackerland zur Biokraftstoffproduktion zu. Diese werden über die vorhandenen Zertifizierungssysteme nach EE-Richtlinie erfasst und werden in den Treibhausgasbilanzen des auf der jeweiligen Fläche gewonnenen Biokraftstoffs berücksichtigt.

Weitaus schwieriger ist die Erfassung von ILUC-Effekten der Biokraftstoffproduktion, was die Verwendung der unterschiedlichen methodischen Verfahren belegt. Auf internationaler Ebene werden verschiedene Ansätze zur ILUC-Berechnung verwendet, die sich in die folgenden zwei Methodenkreise einordnen lassen:

- ⇒ Komplexe ökonomische Modelle
- ⇒ Vereinfachte deterministische Ansätze.

Zu den **ökonomischen Berechnungsmodellen** gehören beispielsweise das GTAP-Modell (Global Trade Analysis Project) der Purdue Universität, das IMPACT (MIRAGE)-Modell des IFPRI (International Food Policy Research Institute) oder CAPRI-Modell (Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis) der Universität Bonn. Alle Studienergebnisse, die mit Hilfe der genannten Verfahren modelliert wurden, zeigen ILUC-Effekte, die erkennbar sind, wenn die Biokraftstoffproduktion gesteigert wird.

In **deterministischen Modellen** werden keine mathematischen oder ökonomischen Modelle verwendet. Die Modelle, die zur Anwendung kommen, arbeiten mit Daten und kausalen Zusammenhängen, von denen angenommen wird, dass sie die Realität bestmöglich abbilden. Im Prinzip hängen die auf diese Weise erzielten Ergebnisse von der exogenen Bestimmung der als relevant und plausibel angesehenen Variablen und deren Verknüpfung untereinander ab. Man verspricht sich von der Anwendung derartiger Modelle eine leichtere und eingängigere Interpretation der zu erwartenden Konsequenzen der zu untersuchenden Fragestellungen.

Die Anwendung, insbesondere der ökonomischen Modelle hat in den vergangenen Jahren zugenommen. Gleichzeitig ist allerdings auch vermehrt Kritik an der Modellierung und den unterstellten Zusammenhängen aufgekommen. So kommen die Modellierungen für die gleichen Fragestellungen zu doch recht unterschiedlichen Ergebnissen (vgl. Übersicht 4). Hier schwanken zum Beispiel die indirekten Landnutzungsänderungen für Palmöl-Biodiesel zwischen 50 und 231 g CO₂ eq/MJ (vgl. Malins, 2017). Die Ergebnisse der Modellberechnungen

streuen sehr stark und führen selbst bei vergleichbaren Sachverhalten, die hinter den Fragestellungen stehen, zu großen Ergebnisunterschieden. So zeigen Malins et al. (2020) in ihrer neueren Untersuchung, dass eine Bewertung indirekter Landnutzungseffekte über GTAP-BIO-Modelle häufig aufgrund von begrenzter Datenverfügbarkeit und nicht stimmiger kausaler Zusammenhänge zu subjektiven Modellierungsansätzen, und damit zu Unsicherheiten in der Beurteilung führen

Im Endeffekt kann festgehalten werden, dass die Konzeption der Modelle und deren zugrundeliegenden Annahmen unterschiedlich sind, und damit eben auch (zum Teil erhebliche) unterschiedliche Ergebnisse ausweisen.

Die Analyse der bisher entwickelten Ansätze zeigt, dass Modelle, die indirekte Landnutzungsänderungen als einen globalen Effekt ermitteln und daraus hochaggregierte Steuerungsfaktoren zur ILUC-Bekämpfung ableiten, aus wissenschaftlicher Sicht nicht ausreichend belastbar sind. Da ILUC ein über den internationalen Agrarhandel moderiertes globales Phänomen sein soll, kann es auch nur über globale Modelle erfasst werden. Allerdings ist aber eine überzeugende Quantifizierung bisher nicht gelungen.

Im Gegensatz zu den oben diskutierten Modellkonzepten wurden in den letzten Jahren vermehrt sogenannte Geo-Informationssysteme zur Identifizierung von Landnutzungsänderungen eingesetzt. Im Prinzip wird damit ein regionaler Ansatz zur Berechnung von ILUC verfolgt. Zugrunde gelegt werden dafür kleinräumige Beobachtungen mit Satellitenaufzeichnungen. Die im Zeitablauf beobachteten Landnutzungsänderungen werden dann berechnet. Hier wird also letztendlich ein Bezug hergestellt zwischen Verbrauchsveränderungen an Biokraftstoffen „in der Welt“ und den Landnutzungsänderungen in den jeweiligen Anbauregionen. Ergänzt werden diese Beobachtungen durch die Beschreibung der in den jeweiligen Regionen gegebenen Verhältnissen und den sich aus den Landesstatistiken ergebenden Datenveränderungen. Man versucht mit Hilfe dieser Art von Bilanzberechnungen Treibhausgasemissionen hervorgerufen durch indirekte Landnutzungsänderungen sowohl als regionales als auch globales System abzubilden. Aber auch hier ist der Nachweis von Höhe bzw. Bedeutung des ILUC-Effektes schwierig zu erbringen.

5.4 Modellierung mit Hilfe von Geo-Informationssystemen - (GIS)

Um den Anbauumfang und dessen Veränderung zu erfassen, werden verschiedene Methoden zur Erstellung von globalen Erntekarten (Very high-resolution satellite imagery) eingesetzt.

Dazu werden verschiedene Verfahren angewandt:

1. Jüngste Fortschritte beim Zugang zu Fernerkundungsdaten ermöglichen es, auf genauere Art und Weise Landnutzungskarten zu erstellen. Einige Studien präsentieren Karten von Ölpalmenplantagen mit geschlossener Überdachung nach Typologie (industrielle Plantagen versus Kleinbauernplantagen) auf globaler Ebene und mit sehr hoher Detailgenauigkeit (10

m Auflösung) für bestimmte Jahre. Es werden dazu verschiedene hochauflösende Radar-Satellitenbilder verwendet. So wurde z. B. das Modell DeepLabv3+, ein neuronales Netzwerk (CNN) für die Segmentierung der betreffenden Regionen, trainiert, um exakte Bilder in eine Landbedeckungskarte für Ölpalmen zu integrieren (zum genauen Verfahren siehe Descals et al., 2021). Das charakteristische Rückstreuverhalten bei Satellitenbeobachtungen geschlossener Ölpalmenbestände und die Fähigkeit des neuronalen Netzwerks räumliche Muster wie Erntestraßennetze zu erlernen, ermöglichen die Unterscheidung zwischen industriellen und kleinbäuerlichen Plantagen auf globaler Ebene (Gesamtgenauigkeit = $98,52 \pm 0,20\%$). Sie übertreffen damit die Genauigkeit bestehender regionaler Ölpalm-Datensätze, die herkömmliche Algorithmen des maschinellen Lernens verwendeten. Die globale Auswertung zeigt, dass Ölpalmenplantagen mit geschlossenem Blätterdach in 49 Ländern zu finden sind und eine kartierte Fläche von 19,60 Mio ha bedecken; die Flächenschätzung betrug $21,00 \pm 0,42$ Mio ha (72,7% industrielle und 27,3% kleinbäuerliche Plantagen). Südostasien ist die Haupterzeugerregion mit einer geschätzten Ölpalmenfläche von $18,69 \pm 0,33$ Mio ha oder 89% der weltweiten Plantagen mit geschlossenen Kronen.

Die Analyse (vgl. Descals et al., 2021) bestätigt auch, dass es erhebliche regionale Unterschiede im Verhältnis zwischen industriellen und kleinbäuerlichen Erzeugern gibt. Eine detaillierte globale Karte der angepflanzten Ölpalmen wäre ein hilfreiches Instrument, die laufende Debatte über die Umweltauswirkungen des Ölsaatenanbaus zu unterstützen. Da diese Modelle regelmäßig neu gestartet werden können, sobald neue Bilder verfügbar sind, können sie zur Überwachung der Ausbreitung von Ölpalmen in monokulturellen Umgebungen eingesetzt werden. Die globale Ölpalmenansicht für das zweite Halbjahr 2019 mit einer räumlichen Auflösung von 10 m findet sich in Descals et al. (2021).

2. In einem weiteren Verfahren wurden auf Basis der von GeoEye betriebenen Satelliten IKONOS und GeoEye-1 sowie der von Digital Globe betriebenen Satelliten Quickbird, WorldView-1 und WorldView-2 hochauflösende Bilder für die Landnutzung verwendet (vgl. Song et al., 2021; Fagua und Ramsey, 2019; Nepstad et al., 2019; Rausch et al., 2019; Furomo et al., 2017; Kastens et al., 2017). Diese Satelliten haben eine räumliche Auflösung von 0,5 bis 1,5 m und ermöglichen eine genaue Erfassung von Industrieanbaugebieten einschließlich der Pflanzenartenbestimmung. Die für die Genauigkeitsbewertung verwendeten Daten deckten 4% der Moorgebiete an 30 verschiedenen Standorten ab. Innerhalb dieser Probenahmestandorte wurden 600 Probeflächen nach dem Prinzip der geschichteten Zufallsauswahl ausgewählt. Die Hälfte der Parzellen wurde außerhalb der Industrieplantagen ausgewählt, um den Grad der Auslassungsfehler bei der Kartierung zu ermitteln. Die Hälfte der Probeflächen wurde innerhalb der als Industrieplantagen eingestuft Gebiete ausgewählt, um die Genauigkeit der Identifizierung der Plantagenarten und die Höhe der Kommissionsfehler bei der Kartierung zu bewerten.

Die folgende Übersicht gibt einen genauen Einblick in die methodische Vielfalt der räumlichen Erfassungsmodelle, deren Fragestellungen und den bisherigen Umfang der Nutzung in wissenschaftlichen Studien.

Übersicht 5: Methoden zur Messung indirekter Landnutzungseffekte

Satellitendaten – Räumliche Erfassung			
Methode	Beschreibung	Fragestellung	Verweise
Landsat Methods to process Landsat imagery and extract cropland field parcels consisted of image normalization, temporal compositing of spectral indices, extraction of land cover objects (i.e., groups of pixels), per pixel (30 m) estimates of cropland, forestland, and other land cover classes.		Expansion of Soybean, forest loss	Song et al. (2021), Nepstad et al. (2019), Nicolau et al. (2019), Zalles et al. (2019), Benami et al. (2018), Graesser et al. (2018), Scaramuzza et al. (2017)
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)		Mapping LUC	Song et al. (2021), Fagua und Ramsey (2019), Nepstad et al. (2019), Rausch et al. (2019), Furomo et al. (2017), Kastens et al. (2017)
CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite Program)		Soybean Expansion	Nepstad et al. (2019)
GLOBIOM A global partial equilibrium model that simulates the competition for land among the main sectors of the land-use-economy (i.e. forestry, agriculture and bioenergy) that are subjected to resource, technology and policy restrictions.		Future development of agriculture and deforestation in Brazil	Sotterroni et al. (2018)
OSIRIS	A spatial explicit model of land-use-change in Indonesia	Effects of demand-side restrictions on high-deforestation palm oil in Europe on deforestation and emissions in Indonesia	Busch et al. (2022)
Sentinel-1 and Sentinel-2 half yearly composites	Earth observation satellites	Creating a high-resolution global map	Descals et al. (2021)

Land-use-maps			
Methode	Beschreibung	Fragestellung	Verweise
The global cropland maps for 2003, 2007, 2011, 2015 and 2019, cropland dynamic maps (net cropland gain and loss) and sample data are publicly available from https://glad.umd.edu/dataset/croplands . The MODIS NPP data are publicly available from https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3hgvf006 . Statistical data on arable land extent and population at the national level are available from https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL and https://population.un.org . GIS country boundaries are available from GADM (https://gadm.org). Source data are provided with this paper.			Potapov et al. (2021)
TerraClass Cerrado			Nepstad et al. (2019)
PRODES	INPE deforestation maps developed by the Amazon Moitoring Program PRODES		Godar et al. (2014)
GFW (Global Forest Watch)	Forest monitoring	Deforestation	Milodowski et al. (2017)
SIAD-Cerrado conversion maps	Cerrado Maps	Expansion of Soy	Rausch et al. (2019)

GIS			
Methode	Beschreibung	Fragestellung	Verweise
QGIS	A free geographic information system software for viewing, editing, capturing, and analyzing spatial data.	Land Use and Land Cover change	Utari et al. (2021)
Arc Map	Geographic information system software for viewing, editing, capturing and analyzing spatial data.		Nicolau et al. (2019)

ArcGIS	Spatial analysis tool	Analyzing LUC; identify different types of land use, converted to palm oil	Srisunthon et al. (2020), Sharma et al. (2019), Saswattecha et al. (2016)
Land Mapper	Web based application, which provides geographical imaging and mapping services	Characterizing oil palm expansion	Furumo et al. (2020)
DeepLabv3+ model	A convolutional neural network, for semantic segmentation. It was trained, to classify images onto an oil palm land cover map.	Create an accurate global crop map	Descals et al. (2021)
Geospatial Agroecosystem Modeling System (GAMS)	GAMS integrates multiple sources of geospatial and surveyed datasets to define homogeneous spatial modeling units (HSMUs); units represent groups of grids of the same soil type, land use, and county boundary. The GAMS further formats the data for each HSMU to drive EPIC modeling.	Simulation of the environmental impacts from the conversion of grassland to corn and soybeans.	Zhang et al. (2021)

Weitere Verfahren I			
Method	Beschreibung	Fragestellung	Verweise
Literaturreview		<ul style="list-style-type: none"> - Review recent progress and challenges ahead - Environmental Impacts of palm oil - evaluate Life-Cycle GHG-Emissions 	Meijaard et al. (2020), Xu et al. (2020), Tang und Qahtani (2020), Arvor et al. (2017)
Regressionsanalyse		<ul style="list-style-type: none"> - Einfluss, Effektivität des Soja Moratoriums - Causes for deforestation 	Amaral et al. (2020), Silverio et al. (2015), Jusys et al. (2016)

Weitere Verfahren II			
Methode	Beschreibung	Fragestellung	Verweise
REML (residual maximum likelihood method)	Mixed methods using REML	Testing differences in GHG fluxes between land uses	Cooper et al. (2020)
VCA (Value Chain Analysis)	The VCA consists of several steps: (1) map the start of the value-added chain; (2) conduct a field survey; and (3) evaluate findings and develop intervention scenarios	This study developed a model called the Indonesian Palm Oil Simulation (IPOS). The architecture of the IPOS model follows the VCA. It has three main components: (1) the palm oil value chain; (2) the policy development scenarios; and (3) the output indicators to evaluate the results of each scenario.	Purnomo et al. (2020)
LCA (Life Cycle Assessment)	LCA is a technique to assess the environmental aspects associated with production of a product (e.g. oilseeds) over its life cycle.	- GHG-Emissions - Global Warming Potential - Environmental Impact and economic benefits of biodiesel production	Yang et al. (2021), Uusitalo et al. (2014), Iriarte et al. (2010), Schmidt et al. (2010)
Environmental Policy Integrated Climate (EPIC)	EPIC is a process based agroecosystem model capable of simulating key biophysical and biogeochemical processes, such as plant growth and development, water balance, (C) and nutrient cycling, soil erosion, and greenhouse gas emissions.	Simulation of the environmental impacts from the conversion of grassland to corn and soybeans.	Zhang et al. (2021)
Soil sampling; GHG sampling	For the determination of soil C and N contents, isotopic composition and soil bulk density; Chambers are installed on field to sample GHG (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) fluxes	Quantify the changes of soil organic matter due to changes in land use and cropland management. Quantify the changes of GHG fluxes due to changes in land use and cropland management	Siqueira-Neto et al. (2020)

Weitere Verfahren III			
Methode	Beschreibung	Fragestellung	Verweise
SEI-PCS method	SEI-PCS uses customs declarations and/or pershipment bills of landing to establish the dates of departure, volumes, ownership, exporting facility, port of export, and the country of import for specific shipments of soy. A logic-based decision tree is then used to map soy export flows back to a 'logistic hub'. Logistic hubs are supply chain nodes in a specific municipality where soy is produced, stored, handled, or transformed before export. The decision tree crosses the consolidated customs information with other independent data sets, including on the logistics and taxation of trading companies, as well as production and country-specific export permissions per facility, so that multiple lines of evidence are used to confirm a given subnational location as the origin of production of a given shipment.	Evaluation of the impact of Zero deforestation commitments	Zu Ermgassen et al. (2020)
GTAP-BIO (Global Trade Model)	This model traces production, consumption, and trade of all goods and services at the global scale. Unlike the standard model, GTAP-BIO disaggregates oil crops, vegetable oils, and meals into several categories, including soybean, rapeseed, oil palm, other oil seeds, soy oil, rapeseed oil, palm oil, other oils and fats, soy meal, rapeseed meal, palm kernel meal, and other meals. In addition, GTAP-BIO represents production and consumption of biofuels and their by-products and traces land use across the world	Effects of demand-site restricitons on high-deforestation palm oil in Europe on deforestation in Indonesia	Busch et al. (2022); Richards et al. (2020); Zhu et al. (2022)
ERenEf (energy renewability efficiency indicator)	ERenEf measures the percentage of the (bio)fuel energy content (FEC) obtained from renewable sources by subtracting from FEC all the inputs of nonrenewable primary energy.	Implications of uncertainty in the life cycle (LC) energy efficiency and greenhouse gas (GHG) emissions of rapeseed oil (RO) as an energy carrier displacing fossil diesel (FD).	Malca et al. (2010)
Emergent Threat Analysis , a process integrating Emerging Hot Spot Analysis of deforestation, visual classification of deforestation outcomes over time, and spatial quantification of contemporary forest condition. Application of Emergent Threat Analysis to tropical Southeast Asia, a global epicentre of biodiversity threatened by deforestation.		How drivers of deforestation vary spatiotemporally, and where to focus limited conservation resources in protecting the most integral yet threatened forested landscapes.	Jamaludin et al. (2022)

6 Relevante Journalbeiträge der Jahre 2018-2022 (September)

Die folgende Übersicht beinhaltet eine Zusammenstellung der für die Fragestellungen der Studie gesichteten und ausgewerteten wissenschaftlichen Literatur. Für den Untersuchungszeitraum von 2018 bis 2022 wurden insgesamt 87 nationale und internationale wissenschaftliche Zeitschriften identifiziert und auf das Thema bezogene Beiträge auf Relevanz hin untersucht. Wie eingangs des Abschnitts 3 dargelegt, konnten nicht alle in den ersten Schritten gefundenen Artikel für die weitere Untersuchung genutzt werden. Es zeigt sich, dass relevante Beiträge und Studien in einer Vielzahl von Journalen zu finden sind.

Übersicht 6: Gesichtete Journals und ausgewählte Studien

Lfde. Nr	Untersuchte Journals	Anzahl der relevanten Artikel	Qualität des Journals
1	Agriculture	11	peer-review (single-blind)
2	Applied Energy	1	peer-review (single blind)
3	Applied Geography	6	peer-review (double blind)
4	Biofpr - Biofuels Bioproducts & Biorefining	2	peer-review (single-blind)
5	Biofuels	2	peer-review (double-blind)
6	Biological Conservation	1	peer-review (double blind)
7	Biomass and Bioenergy	3	peer-review (single blind)
8	Bioresource Technology	1	peer-review (single blind)
9	Bulletin of Indonesian Economic Studies	1	peer-review (double-blind)
10	CATENA	1	peer-review (single blind)
11	Choices	2	peer-review
12	Clean Technologies and Environmental Policy	3	peer-review (single blind)
13	Conservation Letters	4	peer-review (single-blind)
14	Current Opinion in Environmental Sustainability	1	peer-review (double blind)
15	Earth's Future	1	peer-review (single-blind)
16	Earth Syst. Sci. Data	1	peer-review (single blind)
17	Ecological Indicators	1	peer-review (single blind)
18	Ecology and Society	1	peer-review (double blind)

19	Ecosystem Services & Management	2	peer-review (single blind)
20	Energies	1	peer-review (single blind)
21	Energy & Environmental Science	1	peer-review (single blind with a double blind option)
22	Energy for Sustainable Development	2	peer-review (single blind)
23	Energy Policy	1	peer-review (single blind)
24	Energy Strategy Reviews	1	peer-review (single blind)
25	Environment Development and Sustainability	1	peer-review (double blind)
26	Environmental Impact Assessment Review	1	peer-review (double blind)
27	Environmental Progress & Sustainable Energy	1	peer-review (single blind)
28	Environmental Research Communications	1	peer-review (double blind)
29	Environmental Research Letters	53	peer-review (double blind)
30	Environmental Science & Policy	1	peer-review (single blind)
31	Environmental Science & Technology	4	peer-review (single-blind)
32	Environmental Science and Pollution Research	1	peer-review (single blind)
33	European Journal of Agronomy	1	peer-review (double blind)
34	European Journal of Soil Science	1	peer-review (single blind)
35	Forest Policy and Economics	2	peer-review (double blind)
36	Frontiers in Earth Science	2	peer-review (collaborative review)
37	GCB-Bioenergy	4	peer-review (single-blind)
38	Geo-spatial Information Science	1	peer-review (single-blind)
39	Global Change Biology	3	peer-review (single-blind)
40	Global Ecology and Conservations	1	peer-review (single blind)
41	Global environmental change	2	peer-review (double blind)
42	Integrated Environmental Assessment and Management	1	peer-review (single-blind)
43	International Journal of Agricultural Sustainability	1	peer-review (single-blind)
44	International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management	1	peer-review (double-blind)
45	International Journal of Global Warming	1	peer-review (double-blind)
46	International Journal of Life Cycle Assessment	1	peer-review (single blind)
47	Journal of Agricultural Economics	1	peer-review (double blind)

48	Journal of Arid Environments	1	peer-review (single blind)
49	Journal of Cleaner Production	14	peer-review (single blind)
50	Journal of Environmental Management	1	peer-review (single blind)
51	Journal of Industrial Ecology	1	peer-review (single blind)
52	Journal of Integrative Environmental Sciences	1	peer-review (double blind)
53	IEEE-Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	1	peer-review (single blind)
54	Journal of Traffic and Transportation Engineering	1	peer-review (double-blind)
55	Land	3	peer-review (single blind)
56	Land Use Policy	10	peer-review (double blind)
57	Landscape Ecology	1	peer-review (single blind)
58	Marine Pollution Bulletin	1	peer-review (single blind)
59	Methods in Ecology and Evolution	1	peer-review (single blind)
60	Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change	3	peer-review (double blind)
61	Nature	2	peer-review (single blind with a double blind option)
62	Nature Climate Change	2	peer-review (single blind with a double blind option)
63	Nature communications	5	peer-review (single blind with a double blind option)
64	Nature Food	1	peer-review (single blind with a double blind option)
65	Nature plants	1	peer-review (single blind with a double blind option)
66	Nature Sustainability	3	peer-review (double-blind)
67	Nonlinear Processes in Geophysics	2	peer-review (open discussion)
68	Oilseeds and fats,Crops and Lipids	3	peer-review
69	Plant and Soil	1	peer-review (single blind)
70	PLoS One	9	peer-review (single blind)
71	PNAS	9	peer-review (single-blind for direct submissions)
72	Review of European, Comparative & International Environmental Law	3	peer-review (double blind)
73	Renewable and Sustainable Energy Reviews	5	peer-review (single blind)
74	Renewable Energy	3	peer-review (single blind)
75	Research Square	1	peer-review (single blind)

76	Ressources, Conservation and Recycling	1	peer-review (single blind)
77	Revista Brasileira de Cartografia	1	peer-review (double-blind)
78	Science	4	peer-review (single-blind)
79	Science of The Total Environment	6	peer-review (single blind)
80	Scientific reports	2	peer-review (single-blind)
81	Sustainability	3	peer-review (single blind)
82	Sustainability Science	2	peer-review (single blind)
83	Sustainable Production and Consumption	1	peer-review (single blind)
84	Terrestrial, Atmospheric and Oceanic sciences journal	1	peer-review (single-blind)
85	The International Journal of Life Cycle Assessment	5	peer-review (single blind)
86	Trade, Law and Development	1	peer-review (double-blind) optional
87	World Development	1	peer-review (double blind)
Summe der durchsuchten Artikel		261	
... davon verarbeitete Artikel		92	
Zusätzlich begutachtete Quellen (z.B. White Paper)			
	GTAP Research Memorandum No. 30	1	kein Journal
	http://www.mightyearth.org/avoidablecrisis/	1	kein Journal
	IUCN Oil	1	kein Journal
	Malaysian Palm Oil Board	1	kein Journal
	Roundtable on Sustainable Palm Oil	1	kein Journal
	White Paper	2	kein Journal
	Working Paper – ICCT	1	kein Journal
	Biotechnology and Biofuels	1	Journal
	Journal of Land Use Change	2	Journal

7 Zusammenfassung der Projekt-Erkenntnisse

Die Entwicklung indirekter Landnutzungsänderungen (ILUC) fortlaufend zu beobachten, ist eine Aufgabe, die in der Richtlinie (EU) 2018/2001 festgeschrieben wird. Die weltweite Ausdehnung der Produktionsflächen für Nahrungs- und Futtermittelpflanzen auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand soll mit Hilfe der einschlägigen wissenschaftlichen Informationen und Studien regelmäßig erfasst und überprüft werden. Die vorliegende Studie greift diese Zielsetzung auf, indem sie auf Grundlage der aktuellen wissenschaftlichen Literatur den Zusammenhang zwischen der Biokraftstoffverwendung und deren Ausgangsprodukte Sojabohnen, Ölpalmen und Raps und indirekter Landnutzungsänderungen (ILUC) in drei Schritten untersucht und bewertet.

Im Vordergrund der Untersuchung stehen erstens, die inhaltliche Beurteilung der Ergebnisse wissenschaftlicher Studien zum Themenkomplex Landnutzungsänderungen, die in qualifizierten wissenschaftlichen Fachjournalen erschienen sind. Zweitens, wird eine ökonomische Bewertung der möglichen Auslöseeffekte für eine indirekte Landnutzungsänderung im Rahmen eines Monitorings vorgenommen, in Fortschreibung des von der EU-Kommission entwickelten Berechnungsmodells. Um eine valide Erfassung der Landnutzungsänderungen und der möglichen Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Biokraftstoffpolitiken und (indirekten) Landnutzungsänderungen aufzudecken, werden drittens, die unterschiedlichen zum Einsatz kommenden methodischen Ansätze zur Erfassung der Landnutzungsänderungen in ihrer Aussagekraft bewertet.

Die Basis der Studie wurde durch eine umfangreiche Sichtung der qualifizierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen (sogenannte peer-review Journals) für den Zeitraum 2018 – 2022 gelegt. Von insgesamt 261 identifizierten Studien aus 87 Fachjournalen wurden letztendlich 92 Studien zum Themenkomplex ausgewertet.

Obwohl die in die Analyse einbezogenen Studienergebnisse hinsichtlich ihrer jeweiligen Untersuchungsziele, der Untersuchungszeiträume, der Methoden zur Erfassung von Landnutzungsänderungen, als auch der jeweiligen geographischen Bezugsräume (Länder, Vegetationsregionen, Bundesstaaten) nur schwierig miteinander vergleichbar sind, lassen sich dennoch vergleichbare Ergebnisse herausstellen.

Der erste Teil des Projektes zu den aktuellen indirekten Landnutzungseffekten zeigt für die besonders im Fokus stehenden Ölsaaten, Soja und Palm, in allen Studien auch aktuell eine weiterhin fortschreitende Ausdehnung der Anbauflächen in sensiblen Gebieten. So ist die Sojaproduktion in Brasilien mittlerweile auf ca. 38% der brasilianischen Anbaufläche angewachsen. Obwohl der größte Teil der Sojaproduktion dort auf bereits bestehenden landwirtschaftlichen Flächen erfolgt, findet nach wie vor eine erhebliche Ausdehnung der Anbaugebiete in den sensiblen Regionen des Amazonasgebietes und des Cerrados statt. Sowohl die Weide- als auch die Anbauflächen für Sojabohnen haben sich stetig ausgedehnt,

was sowohl auf direkte als auch indirekte Landnutzungsänderungen von bisherigen Waldflächen und sonstigen genutzten Flächen zurückzuführen ist.

Für die Palmölproduktion ist eine ähnlich gleichlaufende Entwicklung in der Studienlage auszumachen. Dies gilt vor allem für Malaysia und Indonesien, die mit ca. 84% des weltweiten Palmölangebots, den Markt dominieren. Aber nicht nur diese beiden Länder, sondern der gesamte südostasiatische Raum hat in den letzten zwei Jahrzehnten bei der Ausdehnung der Palmölproduktion einen Boom erlebt. Mit der Konsequenz, eines deutlichen Rückgangs der Tropenwaldflächen.

In einem weiteren Punkt decken sich die Studienergebnisse. Aktuell wird eine Verlagerung der Landnutzungsänderungen auf weitere Regionen beobachtet. Während die Abholzungsraten im Amazonasgebiet in den letzten zehn Jahren durch eine strengere Umweltpolitik vermindert werden konnten, sind verstärkte Landnutzungsänderungen in der benachbarten Cerrado-Region zu beobachten. Vor allem ist jetzt das Matopiba-Gebiet (bestehend aus den Bundesstaaten Maranhão, Tocantins, Piauí und Bahia) die brasilianische Region, in der sich der Sojaanbau rasch ausbreitet und einen großen Teil der ursprünglichen Cerrado-Vegetation verändert.

Vergleichbare Bedingungen gelten auch für Palmölproduktion. So ist zum Beispiel für die Insel Borneo zu beobachten, dass dort vor allem geschützte Gebiete zunehmend für die Palmölproduktion erschlossen und bereits abgeholzte Flächen in industrielle Ölpalmlantagen umgewandelt wurden. Nach wie vor sind Flächenausdehnungen bei Plantagen-Neuanpflanzungen in verschiedenen Regionen Südostasiens groß. Allerdings ist vereinzelt auch zu beobachten, dass die durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten zurückgehen. Sollte die Nachfrage nach Palmöl weiter steigen, werden die Expansionsraten in den etablierten Regionen wegen zunehmend begrenzter Flächenverfügbarkeit abnehmen, wobei sich dann die künftigen Ausdehnungen auf die Grenzlandschaften von Papua, Papua-Neuguinea und Thailand verlagern werden.

Uneinig sind sich die Studien in der Bewertung der Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen den Politiken der Biokraftstoffproduktion der Verbrauchsländer und den Auslöseeffekten auf indirekte Landnutzungsänderungen. So werden sowohl für Südamerika (Soja) als auch den südostasiatischen Raum (Palm) auch zusätzliche Auslöseeffekte diskutiert. Der Bestand an Primärwäldern in Asien ist durch das Bevölkerungswachstum, die damit einhergehende die Verstädterung ländlicher Regionen und die Umwandlung von Landflächen in landwirtschaftliche Plantagen, wie die Palmölproduktion und andere Landnutzungen (Kautschuk), vielfältig bedroht. Die Ursachen für die Veränderung der Landnutzung sind in der Regel nicht unabhängig voneinander zu bewerten. So geht zum Beispiel die Waldrodung fast immer der Anlage von Ölpalmlantagen voraus. Vergehen dann zwischen Holznutzung und Neuanlage von Ölpalmlantagen mehrere Jahre, ist ein direkter Zusammenhang zur Änderung der Landnutzung schwierig nachzuweisen. Gleiches gilt für den Sojaanbau in Südamerika, wo die unmittelbare Ursache der Entwaldung in erster Linie in der Ausdehnung von Weideland zu sehen ist.

Die Wirkung politischer Interventionen zur Eindämmung der Entwaldung wird in den Studien unterschiedlich bewertet. So haben zwar das 2008 und 2014 eingeführte Soja-Moratorium im brasilianischen Cerrado-Gebiet und ein Palmöl-Moratorium von 2011 in Indonesien den Sojaanbau resp. den Ölpalmanbau in den betreffenden Regionen zurückgedrängt. Allerdings sind die Entwaldungsraten in Gebieten, die nicht unter dem Schutz des Moratoriums standen deutlich angestiegen. Insgesamt werden Moratorien, so wie sie aktuell ausgestaltet sind, nicht als perfektes Steuerungsinstrument angesehen; es wird aber unterstellt, dass von ihnen und weiteren Initiativen wichtige Signale gegen den Entwaldungstrend ausgehen.

Tatsache bleibt aber, dass die Urwaldumnutzung zugunsten der Palmölproduktion und des Sojaanbaus (wenn auch hier nicht unmittelbar) weiterhin in einem erheblichen Ausmaß stattfindet.

Diese Entwicklungen werden auch durch ein weiteres Studienergebnis unterstützt: die Anwendung der von der EU-Kommission entwickelten Formel zur Berechnung des Anteils der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand. Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand sind Wälder, aber vor allem Moorflächen, welche trockengelegt werden. Neben Indonesien beobachtet man auch in anderen Ländern, wie beispielsweise Thailand, einen Zuwachs von Palmölplantagen auf Moorflächen. Als Hauptgrund für die Flächenausdehnung wird in den betreffenden Studien die staatliche Förderung der Biodieselproduktion. So hat die Anpflanzung von Ölpalmen vor allem den Reisanbau, Naturwälder, Feuchtgebiete und Torfmoore verdrängt. Die Fortschreibung der Berechnungen auf Basis der Formel der EU-Kommission zeigt, dass von bedeutenden Ausweitungen gesprochen werden muss, da der Anteil der Ausweitung auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand über dem vorgesehenen Grenzwert liegt.

Die Bewertung, der in den zahlreichen Studien verwendeten methodischen Ansätze zur Analyse von indirekten Landnutzungseffekten, zeigt einen großen Interpretationsspielraum an. Zahlreiche wissenschaftlichen Studien zu indirekten Landnutzungseffekten und zur THG-Bilanzierung der Ölsaatenproduktion verwenden ökonometrisch basierte Modelle der Wirkungsanalyse. Die Anwendung dieser Modelle hat in den vergangenen Jahren zugenommen. Gleichzeitig ist allerdings auch vermehrt Kritik an der Modellierung und den unterstellten Zusammenhängen aufgekommen. So kommen die Modellberechnungen für die gleichen Fragestellungen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Aufgrund der jeweils zugrunde gelegten Kausalbeziehungen zwischen den Wirkungszusammenhängen und den verwendeten Daten streuen die Ergebnisse der Modellberechnungen recht stark. Selbst bei vergleichbaren Sachverhalten, die hinter den Fragestellungen stehen, ergeben sich große Ergebnisunterschiede, die zu Unsicherheiten in der Beurteilung führen.

In Ergänzung zu den ökonometrischen Modellkonzepten wurden in den letzten Jahren vermehrt sogenannte Geo-Informationssysteme zur Identifizierung von Landnutzungsänderungen eingesetzt. Im Prinzip wird damit ein regionaler Ansatz zur Berechnung von ILUC verfolgt. Zugrunde gelegt werden dafür kleinräumige Beobachtungen mit Satellitenaufzeichnungen. Die im Zeitablauf beobachteten Landnutzungsänderungen werden dann berechnet. Hier wird letztendlich ein Bezug zwischen Verbrauchsveränderungen

an Biokraftstoffen „in der Welt“ und den Landnutzungsänderungen in den jeweiligen Anbauregionen hergestellt. Man versucht mit Hilfe dieser Art von Bilanzberechnungen, Treibhausgasemissionen, hervorgerufen durch indirekte Landnutzungsänderungen, sowohl als regionales als auch globales System abzubilden. Aber auch hier ist der Nachweis von Höhe bzw. Bedeutung des ILUC-Effektes schwierig zu erbringen.

Zusammenfassend wird deutlich, dass die Palmölproduktion aber auch die Sojaproduktion zur Gewinnung von Biodiesel mit Landnutzungsänderungen und damit verbundenen erhöhten THG-Emissionen einhergehen. Der Rapsanbau hingegen ist in den einschlägigen wissenschaftlichen Journalen in Bezug auf indirekte Landnutzungsänderungen nicht Gegenstand der Untersuchungen. Schwerpunkte der Studien sind vor allem Lebenszyklusanalysen (LCA) und die Bewertung der Konsequenzen des Rapsanbaus für die Treibhausgasbilanzen. Wissenschaftliche Beiträge zu einem unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Rapsproduktion und indirekten Landnutzungsänderungen konnten lediglich für ein Fallbeispiel identifiziert werden. Auch Studien in der einschlägigen wissenschaftlichen Fachliteratur zu den Ökosystemleistungen des Rapsanbaus konnten nicht identifiziert werden. Aktuell wird, wie ein Exkurs in der Studie zeigt, an derartigen wissenschaftlichen Belegen gearbeitet, wobei es dort vor allem um eine Neubewertung der LCA und der Systemgrenzen bei der Bewertung des Rapsanbaus geht. Veröffentlicht sind sie bisher nicht.

Die in der vorliegenden Studie inhaltlich analysierten wissenschaftlichen Studien sind in einer Literaturdatenbank chronologisch geordnet, systematisch erfasst und bewertet worden. Diese Form der Dokumentation gewährleistet eine stetige Aktualisierung und Fortschreibung der wissenschaftlichen Studienlage und bildet, als unterstützende Datenbank, den Kern des Monitoring-Konzeptes der Studie.

EXKURS zu Raps THG-Emissionen und Lebenszyklusanalysen

Die überwiegende Zahl der für diese Studie identifizierten wissenschaftlichen Beiträge untersucht direkte und indirekte Landnutzungsänderungen, ausgelöst durch eine vermehrte Biodieselproduktion. Wie gezeigt werden konnte, werden indirekte Landnutzungsänderungen fast ausschließlich mit dem Sojaanbau und der Palmölproduktion in Zusammenhang gebracht. Der Rapsanbau zur Biodieselproduktion wird in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung berechtigterweise nicht in den Zusammenhang mit möglichen indirekten Landnutzungsänderungen gebracht. Die Auswirkungen der Rapsproduktion werden dagegen eher in Verbindung mit THG-Emissionen und der Lebenszyklusanalyse (LCA) thematisiert.

Obwohl dieses Themenfeld nicht zum eigentlichen Untersuchungsbereich zählt, wird an dieser Stelle im Rahmen eines Exkurses auf die wesentlichen Erkenntnisse aus der aktuellen Literatur eingegangen. Damit wird der vierte Fragekomplex aus der ursprünglichen Zielsetzung in abgewandelter Form aufgegriffen. Wie sich im Laufe der Untersuchung herausgestellt hat, ist dieses Untersuchungsfeld im Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen kein zentraler Betrachtungsgegenstand in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur, wird aber hier als wichtiger Seitenaspekt betrachtet.

Die methodische Herangehensweise zu Ermittlung des Beitrags der Rapsölproduktion zu den Ökosystemleistungen beruht vor allem auf der Erstellung von sogenannten Lebenszyklusanalysen (Life Cycle Analysis - LCA). Diese versuchen die THG-Emissionen der Rapsproduktion über dessen gesamte Produktions- und Verwertungskette zu erfassen. Dabei handelt es sich bei der Methodik um ein im Prinzip bewährtes Verfahren. Allein aussagekräftige und belastbare Berechnungen scheitern sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene an der Verfügbarkeit geeigneter Daten für derartige Lebenszyklusanalysen. Hier liegt noch ein erhebliches Verbesserungspotenzial vor, da die Nachfrage nach derartigen Analysen als ein wichtiger Baustein der europäischen Agrar- und Klimapolitik im Hinblick auf die nachhaltige Nutzung von Ressourcen angesehen wird.

Die verfügbaren Studien versuchen in ihren Modellberechnungen die THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus der Rapsproduktion (von der Saat bis zum Hoftor - Cradle-to-Farm Gate Assessment - LCA) verursachergerecht und methodisch einwandfrei zu erfassen. Die LCA-Modelle legen für jede Untersuchung eine jeweils fallbezogene landwirtschaftliche Produktionspraxis zugrunde, die für die untersuchten Regionen und die betrachteten Zeiträume repräsentativ sein soll. Die Studie von Fridrihsone et al. (2020) zeigt ein solches Vorgehen am Beispiel Lettlands. In der (Fall)Studie wird die Ökobilanz des Winter- und Frühjahrsrapसानbaus sowie der Rapsölproduktion für einen Zeitraum von 2008-2016 vorgestellt. Mithilfe der Lebenszyklusanalyse (LCA) und eines spezifizierten ganzheitlichen Ansatzes werden die ökologische Nachhaltigkeit und die Gesamtauswirkungen, Engpässe und Vorteile der Verwendung biobasierter Rohstoffe aus der Rapsproduktion bewertet. Die Ökobilanz wird gemäß den ISO-Normen und –Rahmenwerken (vgl. ISO 14044) durchgeführt. Die LCA-Software SimaPro 9.0 von Pré Consultants und die ecoinvent v3.5-Datenbank werden

zur Erstellung des LCA-Modells und zur Durchführung der Folgenabschätzungsberechnungen verwendet. Der kumulierte Energiebedarf (KEB) eines Produkts oder Prozesses stellt den direkten und indirekten Energieverbrauch in MJ während des gesamten Lebenszykluses dar (vgl. Huijbregts et al., 2006). Der KEB berücksichtigt den Primärenergieverbrauch - sowohl aus erneuerbarer als auch nicht-erneuerbarer Energie - und die Energieströme, die für energetische als auch für materielle Zwecke bestimmt sind, sowie die durch Transportvorgänge ausgelöste Energieverbräuche (vgl. Arvidsson et al., 2015). Energieverbrauchsindikatoren gelten als gute Proxy-Indikatoren für Umweltauswirkungen im Allgemeinen (s. Huijbregts et al., 2010).

Die erwähnte Studie von Fridrihsone et al. (2020) entwirft eine Ökobilanz für ein durch Kaltpressung hergestelltes Rapsöl. Die Umweltverträglichkeitsprüfung wurde mit der ReCiPe-Folgenabschätzungsmethode Version 1.03, einer hierarchischen Verwertungsperspektive, zusammen mit der kumulativen Energiebedarfsmethode v1.11 berechnet. Bei der ReCiPe-Methode¹ („Rezept zur Berechnung von Indikatoren für Lebenszykluskategorien“ als sogenannter schadensorientierter Ansatz) werden die Umweltauswirkungen in drei Arten von Schäden aggregiert: menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen. Die aggregierten Umweltauswirkungen werden als ReCiPe-Score (Punktesystem) ausgedrückt. Durch dieses Prinzip wird sichergestellt, dass die Ergebnisse für die Entscheidungsträger leichter zu verstehen und zu interpretieren sind (s. Brinkman et al., 2018).

Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Anbau von Winterraps aufgrund des höheren landwirtschaftlichen Inputs und des höheren Ertrags geringere Umweltauswirkungen als der Anbau von Sommerraps hat. Mineraldünger (Herstellung und Ausbringung) und landwirtschaftliche Maschinen sind für die größten Umweltauswirkungen verantwortlich. Die Ergebnisse für die Verarbeitungsstufe von Rapsöl zeigen, dass die Wahl der Allokationsmethode einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Umweltbilanz hat.

Der Vergleich der Ergebnisse des kumulierten Energiebedarfs (KEB) zeigt, dass der Anbau von Sommerraps 36% mehr Energie erfordert als der von Winterraps, was auf den geringeren Ertrag des Sommerrapses und den höheren Produktionsaufwand zurückzuführen ist. Mineraldünger ist der landwirtschaftliche Input mit den höchsten Umweltauswirkungen für beide Rapsorten. Ein weiterer bedeutender Input ist der Einsatz von Landmaschinen für verschiedene Feldarbeiten. Dagegen haben Transport und Pflanzenschutz mit einem Anteil von unter 15% nur minimale Auswirkungen. Saatgut für die Aussaat hat in allen Wirkungskategorien einen vernachlässigbaren Einfluss, mit Ausnahme des Wasserverbrauchs, der weniger als 4% beträgt. Die Forschungsergebnisse machen deutlich, dass der Ertrag der Ölpflanzen ein entscheidender Faktor bei der Umweltanalyse ist, da die Auswirkungen mit höheren Erträgen abnehmen. Der Anbau von Winterraps hat Vorteile gegenüber dem Anbau von Sommerraps.

¹ Das Akronym setzt sich aus den Initialien der Institute zusammen, die die Methode maßgeblich entwickelt haben: RIVM and Radboud University, CML und PRé Consultants.

Ergänzend zu den obigen Ausführungen sei auch auf den folgenden Zusammenhang zum Treibhausgas-Minderungspotenzial der Raps-erzeugung hingewiesen. Für die Bewertung des THG-Minderungspotenzials von Rapsöl-kraftstoff und Biodiesel als alternativen Energieträger gelten mit dem THG-Inventar und der RED II strikte Vorgaben mit engen Systemgrenzen. Für reines Rapsöl gibt die RED II einen Standardwert von 40 g CO₂-eq. MJ⁻¹ an, der die Prozessschritte Raps-erzeugung, Transport und Ölgewinnung berücksichtigt. Die Verbrennung des Biokraftstoffs fließt auch hier mit null Emissionen in die THG-Bilanz ein. Dass allerdings bei der Ölgewinnung neben dem Rapsöl mit dem Rapspresskuchen auch ein hochwertiges Eiweißfuttermittel entsteht, wird nicht berücksichtigt. Für Deutschland hat aktuell die TFZ-Bayern Fallberechnungen auf regionaler Ebene vorgenommen (vgl. Dressler, 2020). Dafür wurden zwei Varianten zugrunde gelegt und die entsprechenden Alternativberechnungen vorgenommen (für die Details wird auf den Beitrag verwiesen). In der ersten Variante wird eine Energie-Allokation nach Heizwert nach den Vorgaben der RED II vorgenommen. Die Aufteilung (Allokation) der Emissionen zwischen Rapsöl und Rapspresskuchen erfolgt nach den Rechenregeln der RED II über den Heizwert der beiden Produkte. Eine Bewertung des Presskuchens als Futtermittel findet dadurch nicht statt. In der zweiten Variante werden die Berechnungen des THG-Wertes der Koppelprodukte ohne Allokation durchgeführt. Dadurch wurden die engen Systemgrenzen der Vorgaben der RED II erweitert und das Substitutionspotenzial und mögliche Gutschriften der Koppelproduktion bewertet. Zugrunde gelegt wurde eine lebenszyklus-basierte THG-Bilanz mit Erweiterung der Systemgrenzen, d. h. sowohl der Rapsanbau, der Transport des erzeugten Rapses zur Ölmühle, die Verarbeitung sowie die Nutzung des Rapsöl-kraftstoffs und des Rapspresskuchens als Futtermittel, wurden berechnet. Bei der lebenszyklus-basierten THG-Bilanz mit Systemraumerweiterung wird für die Nutzung des Rapspresskuchens als Eiweißfuttermittel eine THG-Gutschrift für das substituierte Referenzsystem gegeben. Rapspresskuchen kann ja bekanntlich anstelle von Sojaschrot als Proteinfuttermittel in der Milchviehhaltung eingesetzt werden.

Je nachdem, welches Szenario zugrunde gelegt wird, ob zum Beispiel davon ausgegangen wird, dass die Ausweitung der Flächen für den Sojaanbau in Südamerika in direktem Zusammenhang mit der Rodung von Regenwald sowie mit der Umwandlung von Buschland in Ackerland steht, oder ob bei Systemraumerweiterung eine THG-Gutschrift für substituiertes Sojaschrot sowohl mit als auch ohne Landnutzungsänderungen in Südamerika ausgewiesen wird, sind unterschiedliche Berechnungen vorgenommen worden.

Ohne Berücksichtigung der Landnutzungsänderungen unterscheiden sich die Ergebnisse der LCA mit Systemraumerweiterung und Substitution nur geringfügig von denen, die mit der Energie-Allokation berechnet wurden. Die Energie-Allokation bei dezentraler Erzeugung führt zu einer THG-Minderung von 64,5 %. Die Rechenergebnisse für eine Systemraumerweiterung bei gleicher Datengrundlage ergeben eine THG-Minderung von 59 % im Vergleich zur fossilen Referenz. Der Standardwert der RED II gibt eine THG-Minderung von 57 % an.

Bei Einbezug der Landnutzungsänderungen, ergibt sich ein anderes Ergebnis. Aufgrund der sehr hohen Auswirkungen der anteiligen Landnutzungsänderungen beim Sojaanbau können

die Rapserzeugung und dessen gekoppelte Nutzung als Kraftstoff und als Eiweißfuttermittel zu einer THG-Minderung von 120 % führen.

Ein weiterer Aspekt, der mit der Energie- Allokation nicht abgebildet werden kann, ist der positive Effekt der Rapserzeugung auf die Nachfrucht. So wird auf den Beitrag von Pahlmann et al. (2013) verwiesen, die zeigen, wie beim nachfolgenden Weizenanbau Mineraldünger eingespart werden kann und wie diese Effekte durch die Systemraumerweiterung der Rapserzeugung gutgeschrieben werden können. Die Gutschrift liegt nach bei 7,3 g CO₂-eq. MJ⁻¹ und erhöht das THG-Minderungspotenzial der Rapserzeugung und -verwendung auf 127 % (vgl. Dressler, 2020). Auch Machholdt et al. (2020) weisen auf eine größere Ertragsstabilität, bessere Verwertung des Mineraldüngers und damit positive Umweltwirkung und tendenziell höhere Erträge bei Fruchtfolgen mit Rapssaat als Vorfrucht im Vergleich zu Fruchtfolgen mit hohem Getreideanteil hin.

Auf einen weiteren Aspekt weist Dressler in ihrem Beitrag hin: Die Systemgrenzen des länder- und sektorspezifischen THG-Inventars sind am engsten und die der lebenszyklusweiten Bewertung (LCA) am weitesten gefasst. Allerdings können länder- und sektorspezifische Grenzen zu Verschiebungseffekten (Carbon Leakage) ohne Berücksichtigung des Verursacherprinzips führen. Dies verdeutlicht vor allem die Anrechnung der THG-Emissionen zur Bereitstellung von Eiweißfuttermitteln aus Rapssaat im Vergleich zu Sojaschrot aus Übersee. Während eine lebenszyklusbasierte THG-Bilanz von Sojaschrot aus Übersee mit Berücksichtigung von Landnutzungsänderung THG-Emissionen in Höhe von 13,5 kg CO₂-Äquivalente ausweist, bleiben diese Emissionen im THG-Inventar des Sektors Landwirtschaft in Deutschland aufgrund der länderspezifischen Systemgrenzen völlig unberücksichtigt. Die THG-Emissionen von heimischen Futtermitteln wie Rapspresskuchen und Rapsextraktionsschrot dagegen werden sehr wohl im THG-Inventar angerechnet. Folglich könnte der 100%ige Import von Futtermitteln zu einer Verbesserung des THG-Inventars in Deutschland führen, während in Südamerika der Anbau von Sojabohnen und damit die Umwandlung von Regenwald und Buschland in Ackerflächen weiter zunimmt.

Nach Ansicht von Dressler müssten die Systemgrenzen zur Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen überprüft und angepasst werden. Sie plädiert dafür, Maßnahmen und Förderinstrumente zum Klimaschutz und zum Ausbau von erneuerbaren Energien mit einem lebenszyklus-basierten Ansatz zu bewerten. Denn nach dem bisherigen Schema bestünde weiterhin die Gefahr, THG-Emissionen in andere Systeme zu verschieben. Deshalb sollte die Rapserzeugung und -verwendung bei staatlichen Maßnahmen und Förderinstrumenten zum Klimaschutz nach dem ganzheitlichen lebenszyklus-basierten Ansatz bewertet werden. Bei gegenwärtigen vorgegebenen Systemgrenzen würde das THG-Minderungspotenzial der Biokraftstoffe unterschätzt werden.

Die Autorin weist in ihrem Beitrag auch darauf hin, dass es für den Umgang mit Fruchtfolgeeffekten in Treibhausgasbilanzen und anderen Umweltbewertungen noch keine einheitliche Vorgehensweise gibt. Gleichzeitig erwähnt sie, dass die Festlegung und Erprobung methodischer Aspekte derzeit Gegenstand vieler Untersuchungen und Forschungsprojekte ist.

Übersicht 7: Forschungsbeiträge zu LCA und THG-Analysen

Ölsaaten – LCA – GHG I				
Region	Themenschwerpunkt	Methode	Ergebnisse	Studie
Central Germany (CG; Saxony, Saxony-Anhalt, Thuringia)	Life cycle analyses (LCA) for rapeseed to evaluate the environmental impact and the economic benefits of biodiesel production. What is the optimized operating capacity of each biodiesel plant in terms of the minimum environmental impact and maximum economic benefit and which plant is most efficient in CG?	Optimization of the biodiesel plant production capacity by employing the generalized reduced gradient non-linear optimization method. The approach is aimed to maximize the economic benefits while minimizing the environmental burdens.	Emissions from the rapeseed cultivation process comprised the largest proportion of total emissions across the studied environmental impact categories, ranging from 48.22% to 91.94%. The optimized operating capacities of the biodiesel plants in CG generally ranged from 51.31% to 53.15%. This finding indicates a gap between the regional rapeseed supply and the rapeseed demand of all the biodiesel plants in CG. If the biodiesel plants in CG ran at their full capacities, severe ILUC might occur because the supply gap must be filled by importing rapeseed from other regions. In general, the observed performance of each plant also suggests that there was a strong economies of scale effect in the biodiesel production industry. None of the studied plants in CG could run at their installed capacity without negatively impacting the environment. The high-protein press cake used as a soybean replacement in livestock feed has been mentioned. But, its value (or likely positive effects on ILUC) have not been subject of their analysis.	Yang et al. (2021)
Global scale	Estimation of carbon and biodiversity footprints, per unit of oil produced, of the world's five major vegetable oil crops.	Global maps of harvested areas and yields for the year 2010, the most recent available spatial data; global maps of harvested areas and yields for oil palm, soybean, rapeseed, sunflower and groundnut. 5 arc-minute (~10 km at the equator)	Oil palm has the lowest carbon loss and species richness loss per-tonne-oil, but has a larger impact on range-restricted species than sunflower and rapeseed. Global areas for oil crop expansion that will minimise future carbon and biodiversity impacts are identified. Closing current yield gaps and optimising the location of future growing areas will be much more effective at reducing future environmental impacts of global vegetable oil production than substituting any one crop for another.	Beyer et al. (2020), „Preprint“

Ölsaaten – LCA – GHG II

Region	Themenschwerpunkt	Methode	Ergebnisse	Studie
Malaysia & Indonesia	<p>The main objective of this study is to evaluate the life-cycle GHG emissions and energy balance of renewable diesel (RD) production from PFAD (Palm Fatty Acid Distillate);</p> <p>Few remarks to substitution effects of soy and rapeseed oil.</p>	Review of Literature	<p>Total life-cycle fossil energy consumption for petroleum diesel is about 1.2 MJ per MJ fuel consumed. In contrast, overall fossil energy consumption by the PFAD to RD pathway is much lower than that of petroleum diesel, ranging from 0.14 MJ (PFAD as a residue) to 0,27 MJ (PFAD as a co-product) per MJ RD produced. This means RD produced from PFAD could potentially reduce GHG emissions by 66.9–85.4%, relative to petroleum diesel, as simulated in the models.</p> <p>ILUC: The results suggest that, with high ILUC emissions counted, neither refined palm oil (RPO)- nor PFAD-derived RD would deliver carbon emission reductions, relative to conventional petroleum diesel.</p>	Xu et al. (2020)
Global scale	<p>The focus of this article is on the potential land use change impacts associated with the oilseed-based biodiesel consumption. Main crops used for biodiesel production are oilseed rape (OSR), soybeans and oil palm.</p> <p>The objective of is to provide a technical assessment of potential land use change arising from the growth of these three major crops at global level.</p>	<p>The assessment is based on: (1) a literature review of land use change (e.g. dynamics of cropland, pasturelands, forestlands and wetlands), emissions associated with Agriculture, Forest and Other Land Use (AFOLU), oil crop productivity, and the production of vegetable oils; and (2) estimates using historical data (e.g. oil production, land area and crop yields) from FAO, USDA and EUROSAT databases. Based on a broad country-level analysis for the major producing countries.</p>	<p>Soybean area has approximately the carbon stock for average cropland. The expansion occurred over areas with an average carbon stock similar to tropical forestland. The soy expansion over native vegetation has emitted about 88 Mt CO₂ eq per year, including changes in soil carbon.</p> <p>We calculate the global average greenhouse gas emissions intensities based on the ILUC-risks as 56 g CO₂ eq/MJ for soy oil and 108 g CO₂ eq/MJ for palm oil.</p> <p>For rapeseed oil all the assessed countries presented net afforestation/reforestation in the past decade, apart from Canada, which presented a small net deforestation area. There is no apparent correlation between the recent expansion of oilseed rape and forest dynamics.</p> <p>The study does not find evidence for high ILUC-risk expansion of oilseed rape.</p>	Strapasson et al. (2019)

LITERATURVERZEICHNIS

- Abood, S. A., Lee, J. S. H., Burivalova, Z., Garcia-Ulloa, J., & Koh, L. P. (2015): Relative contributions of the logging, fiber, oil palm, and mining industries to forest loss in: Indonesia, in: *Conservation Letters*, 8(1), 58-67.
- Aik, D.H.J., M.H. Ismail (2020): Detection of deforestation and analysis land conversion from high resolution satellite imageries in Bintulu District, Serawak, Malaysia, in: D H J Aik and M H Ismail , *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 561.
- Amaral, D.F.; J.B. de Souza Ferreira Filho, A.L. Squarize Chagas, M. Adami (2020): Expansion of soybean farming into deforested areas in the Amazone biome in Mato Grosso, Parána and Rondônia States: the role of public policies and the soy moratorium, TD Nereus 03-2020, São Paulo.
- Arvidsson, R., M.A. Svanstrom (2015): Framework for Energy Use Indicators and Their Reporting in Life Cycle Assessment. in: *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 12, 429–436.
- Arvor, D., I. Tritsch, C. van Barcello, N. Jegou, V. Dubreuil (2017): Land use sustainability on the South-Eastern Amazon agricultural frontier: Recent progress and the challenges ahead, in: *Applied Geography* Vol. 80, 86-97, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.02.003>.
- Austin, K.G., A. Mosnier, J. Pirker, I. McCallum, S. Fritz, P.S. Kasibhatla (2017): Shifting patterns of oil palm driven deforestation in Indonesia and implications for zero-deforestation commitments, in: *Land Use Policy* 69, 41–48.
- Barona, E., N. Ramankutty, G. Hyman and O. T. Coomes (2010): The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon, in: *Environ. Res. Lett.* 5.
- Bastos Lima, M. G., U. M. Persson, P. Meyfroidt (2019): Leakage and boosting effects in environmental governance: a framework for analysis, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 14, Article 105006, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4551>.
- Benami, E., L. M. Curran, M. Cochrane, A. Venturieri, R. Franco, J. Kneipp, A. Swartos (2018): Oil palm land conversion in Pará, Brazil, from 2006–2014: evaluating the 2010 Brazilian Sustainable Palm Oil Production Program, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 13, Article 034037, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa270>.
- Beyer, R., A. P. Duran, T. Rademacher, C. M. Tayleur, S. E. Brooks, D. Coomes, P. F. Donald, F. J. Sanderson, (2020): The environmental impacts of palm oil and its alternatives, in: *Biorxiv Preprint-Journal*, <https://doi.org/10.1101/2020.02.16.951301>.
- Brinkman, M.L.J., F. van der Hilst, A.P.C. Faaij, B. Wicke (2018): Low-ILUC-risk rapeseed biodiesel: potential and indirect GHG emission effects in Eastern Romania, in: *Biofuels*, doi: 10.1080/17597269.2018.1464873.
- Busch, J., J. Engelmann (2018): Cost-effectiveness of reducing emissions from tropical deforestation, 2016–2050, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 13, Article 015001, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa907c>.

-
- Busch, J., O. Amarjargal, F. Taheripour, K.G. Austin, R.N. Siregar, K. Koenig, T. W Hertel (2022): Effects of demand-side restrictions on high-deforestation palm oil in Europe on deforestation and emissions in Indonesia in: *Environ. Res. Lett.* 17.
- Carlson, K. M., Curran, L. M., Asner, G. P., Pittman, A. M., Trigg, S. N., & Marion Adeney, J. (2013): Carbon emissions from forest conversion by Kalimantan oil palm plantations, in: *Nature Climate Change*, 3(3), 283-287.
- Chen, B., C. M. Kennedy, B. Xu (2019): Effective moratoria on land acquisitions reduce tropical deforestation: evidence from Indonesia, in: *Environ. Res. Lett.* Vol. 14, Article 044009, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab051e>.
- Cooper, H.V., S. Evers, P. Aplin, N. Crout, M.P.B. Dahalan, S. Sjogersten (2020): Greenhouse gas emissions resulting from conversion of peat swamp forest to oil palm plantation, in: *Nature Communications* 11, 407 doi: 10.1038/s41467-020-14298-w.
- Da Ponte, E., M. Roch, P. Leinenkugel, S. Dech. C. Kuenzer (2017): Paraguay's Atlantic Forest cover loss - Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013, in: *Applied Geography*, Vol. 79, 37-49, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog>.
- Descals, A., S. Wich, E. Meijaard, D.L.A. Gaveau, S. Peedell, Z. Szanto (2021): High-resolution global map of smallholder and industrial closed-canopy oil palm plantations, in: *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 1211–1231, <https://doi.org/10.5194/essd-13-1211-2021>
- Directive 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources OJ L 328/82 (RED II).
- Dressler, D. (2020): Treibhausgas-Minderungspotenzial ausschöpfen, in: *Raps*, Jg. 38, Heft 2, 34-37.
- EU Commission (2019): Delegated Regulation (EU) 2019/807 of 13 March 2019 supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council as regards the Determination of High Indirect Land-Use Change-Risk Feedstock for which a Significant Expansion of the Production Area into Land with High Carbon Stock is Observed and the Certification of Low Indirect Land-Use Change-Risk Biofuels, Bioliquids and Biomass Fuels OJ L 133/1 ('The ILUC Regulation') art 1.
- European Commission, 'Sustainability criteria for biofuels specified' (Memo 19/1656, 13 March 2019).
- European Commission, Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Status of Production Expansion of Relevant Food and Feed Crops Worldwide, Doc No COM(2019) 142, 13 March 2019 (the 'Production Expansion Report'), 3- 4.
- Fagua, J. C., R. D. Ramsey (2019): Geospatial modeling of land cover change in the Choco'-Daríen global ecoregion of South America; One of most biodiverse and rainy areas in the world, in: *PLoS One*, No. 1 (February), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211324>.
- Fehlenberg, V., M. Baumann, N. I. Gasparri, M. Piquer-Rodríguez, G. Gavier-Pizarro, T. Kuemmerle (2017): The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco, in: *Global Environmental Change*, Vol. 45, 24-34.

-
- Fridrihsone, A., F. Romagnoli, U. Cabulis (2020): Environmental Life Cycle Assessment of Rapeseed and Rapeseed Oil Produced in Northern Europe: A Latvian Case Study, in Sustainability, 12.
- Furumo, P. R., E. F. Lambin (2020): Scaling up zero-deforestation initiatives through public-private partnerships: A look inside post-conflict Colombia, in: Global Environmental Change, Vol.62, Article 102055.
- Furumo, P. R., T. M. Aide (2017): Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade in: Environ. Res. Lett., Vol. 12, Article 024008, doi:10.1088/1748-9326/aa5892.
- Gaveau, D., Locatelli, B., Salim, M., Husnayaen, H., Manurung, T., Descals, A., Angelsen, A., Meijaard, E., Sheil, D. (2021): Slowing deforestation in Indonesia follows declining oil palm expansion and lower oil prices, in: Research Square, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-143515/v1>.
- Gaveau, D., Locatelli, B., Salim, M., Yaen, H., Pacheco, P., Sheil, D. (2018): Rise and fall of forest loss and industrial plantations in Borneo (2000–2017), in: Conservation Letters. Vol. 12, <https://doi.org/10.1111/conl.12622>.
- Gaveau, D., Sheil, D., Husnayaen, H., Salim, M., Arjasakusuma, S., Ancrenaz, M., Pacheco, P., Meijaard, E. (2017): Rapid conversions and avoided deforestation: examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo in: Scientific Reports, 6, DOI: 10.1038/srep32017.
- Global Forest Watch (2018): Tree cover loss in Malaysia. <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/MYS>. Accessed October 5, 2018. (zitiert nach Sharma et. al. 2019).
- Godar, J., T. A. Gardner, E. J. Tizado, P. Pacheco (2014): Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon, in: PNAS, Vol. 111, No. 43, 15591–15596.
- Graesser, J., N. Ramankutty, O. T. Coomes (2018): Increasing expansion of large-scale crop production onto deforested land in sub-Andean South America, in: Environ. Res. Lett., Vol. 13, Article 084021, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad5bf>.
- Gunarso, P., M.E. Hartoyo, F. Agus, T.J. Killeen (2013): Oil palm and land use change in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea, in: Reports from the Technical Panels of the 2nd Greenhouse Gas Working Group of the Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO).
- Hertel T. W. (1997): Global Trade Analysis: Modeling and Applications. Cambridge University Press.
- Hertel, T. W., T. A. P. West, J. Börner, N. B. Villoria (2019): A review of global-local-global linkages in economic land-use/cover change models, in: Environ. Res. Lett. Vol. 14, Article 053003, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d33>.
- Huijbregts, M., L. Rombouts, S. Hellweg, R. Frischknecht, A. Hendriks, D. Van de Meent, A. Ragas, L. Reijnders, J. Struijs (2006): Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? in: Environ. Sci. Technol., 40, 641–648.
- Huijbregts, M., S. Hellweg, R. Frischknecht, H.W.M. Hendriks, K. Hungerbühler, A.J. Hendriks (2010): Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production. in: Environ. Sci. Technol., 44, 2189–2196.

-
- IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística] (2017): Municipal Agricultural Production (IBGE Automatic Recovery System - SIDRA) IBGE, Rio de Janeiro, Brazil (Accessed 17 January 2022) (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>).
- Iriarte, A., J. Rieradevall, X. Gabarrell (2010): Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions, in: *Journal of Cleaner Production*, Vol. 18, 336–345.
- ISO 14044 International Standard. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006 and ISO 14040 International Standard. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
- Jaime, R., J. M. Alcantara, A. J. Manzaneda, P. J. Rey (2018): Climate change decreases suitable areas for rapeseed cultivation in Europe but provides new opportunities for white mustard as an alternative oilseed for biofuel production, in: *PLoS One*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.02071>, 24 November 5.
- Jamaludin, J., J. D. T. De Alban, L. R. Carrasco, E. L. Webb (2022): Spatiotemporal analysis of deforestation patterns and drivers reveals emergent threats to tropical forest landscapes, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 17, Article 054046, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac68fa>.
- Jusys, T. (2016): Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon, in: *Applied Geography*, Vol. 75, 188-199, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.08.015>.
- Kastens, J. H., J. C. Brown, A. C. Coutinho, C. R. Bishop, J. C. D. M. Esquerdo (2017): Soy moratorium impacts on soybean and deforestation dynamics in Mato Grosso, Brazil, in: *PLoS One*, No. 4 (April), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176168>.
- Kim, D., S. Hanifzadeh, M., Kumar, A. (2017), Trend of Biodiesel Feedstock and Its Impact on Biodiesel Emission Characteristics, in: *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Vol.37, No.1.
- Macholdt, J., M. E. Styczen, A. Macdonald, H.-P. Piepho, B. Honermeier (2020): Long-term analysis from a cropping system perspective: Yield stability, environmental adaptability, and production risk of winter barley, in: *European Journal of Agronomy*, 117, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126056>.
- Malca, J., F. Freire (2010): Uncertainty Analysis in Biofuel Systems An Application to the Life Cycle of Rapeseed Oil, in: *Journal of Industrial Ecology*, Volume 14, No. 2, 322-334, DOI: 10.1111/j.1530-9290.2010.00227.
- Malins, C. (2017): For peat's sake - Understanding the climate implications of palm oil biodiesel consumption, Cerology and Rainforest Foundation Norway, www.rainforest.no/en/.
- Malins, C.; R. Plevin, R. Edwards, (2020): How robust are reductions in modeled estimates from GTAP-BIO of the indirect land use change induced by conventional biofuels? In: *J. Cleaner Prod.*, Vol. 258, Article 120716.
- Meijaard, E., T.M. Brooks, K.M. Carlson, E.M. Slade, J.G. Ulloa, D.L.A. Gaveau, J.S.H. Lee, T. Santika, D.J. Bignoli, M.J. Struebig, S.A. Wich, M. Ancrenaz, L.P. Koh, N. Zamira, J.F.

-
- Abrams, H.H.T. Prins, C.N. Sendashonga, D. Murdiyarso, P.R. Furumo, N. Macfarlane, R. Hoffmann, M. Persio, A. Descals, Z. Szantoi, D. Sheil (2020): The environmental impacts of palm oil in context in: *Nature Plants*, Vol 6, December, 1418–1426.
- Meyfroidt P, E. F. Lambin, K.-H. Hand, T. Hertel (2013): Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use, in: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 5, Heft 5, 438–44.
- Meyfroidt, P., J. Börner, R. Garrett, T. Gardner, J. Godar, K. Kis-Katos, B. S. Soares-Filho, S. Wunder (2020): Focus on leakage and spillovers: informing land-use governance in a tele-coupled world, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 15, Article 090202, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7397>.
- Milodowski, D. T., E. T. A. Mitchard, M. Williams (2017): Forest loss maps from regional satellite monitoring systematically underestimate deforestation in two rapidly changing parts of the Amazon, in: *Environ. Res. Lett.* Vol. 12, Article 094003, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7e1e>.
- Monzon, J. P., M. A. Slingerland, S. Rahutomo, F. Agus, T., J. F. Andrade, A. Couëdel, J. I. R. Edreira, W. Hekman, R. van den Beuken, F. Hidayat, I. Pradiko, D. K. G. Purwantomo, C. R. Donough, H. Sugianto, Y. L. Lim, T. Farrel, P. Grassini (2021): Fostering a climate-smart intensification for oil palm, in: *Nature Sustainability*, Vol 4, July 2021, 595–601.
- Nepstad, L., J. Gerber, J. Hill, L. Dias, M. Costa, P. West (2019): Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans, in: *Environ. Res. Lett.* 14.
- Nicolau, A.P., Herndon, K., Flores-Anderson, A., Griffin, R. (2019): A spatial pattern analysis of forest loss in the Madre de Dios region, Peru, in: *Environ. Res. Lett.* 14 (2019) 124045 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab57c3>.
- Noojipady, P., D. C. Morton, Ma. N. Macedo, D. C. Victoria C. Huang, H. K. Gibbs and E. L. Bolfe (2017): Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome, in: *Environ. Res. Lett.* 12.
- Numata, I., A. J. Elmore, M. A. Cochrane, C. Wang, J. Zhao, X. Zhang (2022): Deforestation, plantation-related land cover dynamics and oil palm age-structure change during 1990–2020 in Riau Province, Indonesia, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 17, Article 094024, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac8a61>.
- Pahlmann, I., Böttcher, U., Sieling, K. und Kage, H. (2013): Possible impact of the Renewable Energy Directive on N fertilization intensity and yield of winter oilseed rape in different cropping systems, in: *Biomass and Bioenergy* 57, 168-179.
- Paim, M.-A. (2021): Zero deforestation in the Amazon: The Soy Moratorium and global forest governance, in: *RECIEL – Review of European, Comparative & International Environmental Law*, Vol. 30, 220-232, DOI: 10.1111/reel.12408.
- Peçanha Esteves, V. P., E. M. M. Esteves, D. J. Bungenstab, D. G. dos Santos Wendriner Loebmann, D. de Castro Victoria, L. E. Vicente, O. de Queiroz Fernandes Araújo, C. do Rosário Vaz Morgado (2016): Land use change (LUC) analysis and life cycle assessment (LCA) of Brazilian soybean biodiesel, in: *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 18, 1655–1673.

-
- Potapov, P., S. Turubanova, M. C. Hansen, A. Tyukavina, V. Zalles, A. Khan, X.-P. Song, A. Pickens, Q. Shen, J. Cortez (2021): Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century, in: *Nature Food*, Vol. 3, January, 19–28.
- Pré Consultants Introduction to LCA with SimaPro Title: Introduction to LCA with SimaPro. Available online: <https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8>.
- Purnomo, H., B. Okarda, A. Dermawan, Q.P. Ilham, P. Pacheco, F. Nurfatriani, E. Suhendang (2020): Reconciling oil palm economic development and environmental conservation in Indonesia: A value chain dynamic approach, in: *Forest Policy and Economics* 111, doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102089.
- Ramdani, F., & Hino, M. (2013): Land use changes and GHG emissions from tropical forest conversion by oil palm plantations in Riau Province, Indonesia, in: *PloS One*, 8(7).
- Rausch, L. L., H. K. Gibbs, I. Schelly, A. Brandão Jr., D. C. Morton, A. C. Filho, B. Strassburg, N. Walker, P. Noojipady, P. Barreto, D. Meyer (2019): Soy expansion in Brazil's Cerrado, in: *Conservation Letters*.2019; Vol. 12, No. 6, <https://doi.org/10.1111/conl.12671>
- Richards, P., F. Taheripour, E. Arima, and W.E. Tyner (2020): Tariffs on American Soybeans and Their Impact on Land Use Change and Greenhouse Gas Emissions in South America. *Choices*, Vol. 35, Quarter 2, <http://www.choicesmagazine.org/choices-magazine/submitted-articles/>.
- Rum, I. A., A. Tukker, A. de Koning, A. A. Yusuf (2022): Impact assessment of the EU import ban on Indonesian palm oil: Using environmental extended multi-scale MRIO, in: *Science of The Total Environment*, Vol. 853, December, Article 158695.
- Saswattecha, K., Hein, L., Kroeze, C., & Jawjit, W. (2016): Effects of oil palm expansion through direct and indirect land use change in Tapi river basin, Thailand, in: *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12(4), 291-313.
- Scaramuzza, C. A., 1, Sano, E. E., Adami, M., Bolfe, E. L., Coutinho, A. C., Esquerdo, J. C., Pinheiro Maurano, L. E., Narvaes, I. S., de Oliveira Filho, F. J., Rosa, R., da Silva, E. B., de Morrison Valeriano, D., de Castro Victoria, D., Bayma, A. P., de Oliveira, G. H., Bayma-Silva, G. (2017): Land-use and land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images, in: *Revista Brasileira de Cartografia a Rio de Janeiro*, No 69/6, 1041-1051.
- Schmidt, J. H. (2010): Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil, in: *Int J Life Cycle Assess*, Vol. 15,183–197.
- Sharma, S.K., H. Baral, Y. Laumonier, B. Okarda, H. Komarudin, H. Purnomo, P. Pacheco (2019): Ecosystem services under future oil palm expansion scenarios in West Kalimantan, Indonesia, in: *Ecosystem Services and Management*, Vol. 39, Article 100978.
- Shigetomi, Y., Y. Ishimura, Y. Yamamoto (2020): Trends in global dependency on the Indonesian palm oil and resultant environmental impacts, in: *Sci Rep*, Nov 26;10 (1).
- Silvério, D. D., P. M. Brando, M. N. Macedo, P. S. A. Beck, M. Bustamante, M. T. Coe (2015): Agricultural expansion dominates climate changes in southeastern Amazonia: the overlooked non-GHG forcing, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 10, Article 104015, [doi:10.1088/1748-9326/10/10/104015](https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/10/104015).
-

-
- Siqueira-Neto, M., Popin, G. V., Piccolo, M. C., M. Corbeels, E. Scopel, P. B. Camargo, M. Bernoux (2020): Impacts of land use and cropland management on soil organic matter and greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado, in: *Eur J Soil Sci*, Vol. 72, No. 3, 1431–1446, <https://doi.org/10.1111/ejss.13059>.
- Song, X.-P, M. C. Hansen, P. Potapov, B. Adusei, J. Pickering, M. Adami, A. Lima, V. Zalles, S. V. Stehman, C. M. Di Bella, M. C. Conde, E. J. Copati, L. B. Fernandes, A. Hernandez-Serna, S. M. Jantz, A. H. Pickens, S. Turubanova, A. Tyukavina (2021): Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation, in: *Nature Sustainability*, Vol. 4, 784–792.
- Soterroni, A. C., A. Mosnier, A. X. Y. Carvalho, G. Camara, M. Obersteiner, P. R. Andrade, R. C. Souza, R. Brock, J. Pirker, F. Kraxner, P. Havlik, V. Kapos, E. K. H. J. zu Ermgassen, H. Valin, F. M. Ramos (2018): Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code, in: *Environ. Res. Lett.* Vol. 13, Article 074021, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/>.
- Srisunthon, P., S. Chawchai (2020): Land-Use Changes and the Effects of Oil Palm Expansion on a Peatland in Southern Thailand, in: *Frontiers in Earth Science*, Vol. 8, November, Article 559868.
- Strapasson A, J. Falcão, T. Rossberg, G. Buss, J. Woods, S. Peterson (2019): Land Use Change and the European Biofuels Policy: The expansion of oilseed feedstocks on lands with high carbon stocks, in: *OCL* Vol. 26, No. 39, <https://doi.org/10.1051/ocl/2019034>.
- Taheripour, F., S. Mueller, H. Kwon (2021): Response to how robust are reductions in modeled estimates from GTAP-BIO of the indirect land use change induced by conventional biofuels? In: *J. Cleaner Prod.*, Vol. 310, Article 127431.
- Taheripour, F., T.W. Hertel, N. Ramankutty (2019 a): Market-mediated responses confound policies to limit deforestation from oil palm expansion in Malaysia and Indonesia, in: *PNAS*, vol. 116, no. 38, 19193–19199. (2019 b): Appendix Supplementary Information for Market-mediated responses confound policies to limit deforestation from oil palm expansion, in Malaysia and Indonesia, in: *PNAS*, vol. 116, no. 38, Appendix: pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1903476116.
- Taheripour, F., W. E. Tyner (2018): Impacts of Possible Chinese 25% Tariff on U.S. Soybeans and Other Agricultural Commodities, in: *Choices*, 2nd Quarter, 33(2).
- Tang, K. H. D., H. M. S. Al Qahtani (2020): Sustainability of oil palm plantations in Malaysia, in: *Environment Development and Sustainability*, Vol. 22 (6).
- Tsujino, R., T. Yumoto, S. Kitamura, I. Djamaluddin, D. Darnaedi (2016): History of forest loss and degradation in Indonesia, in: *Land Use Policy* 57, 335–347.
- Utari, H., E. Ibrahim, E. Saleh (2021): Land Use-Land Cover Changed Analysis in Ogan Watershed, South Sumatra During 2014-2019 Period, in: *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 5(2), 53-57.
- Uusitalo, V., S. Väisänen, J. Havukainen, M. Havukainen, R. Soukka, M. Luoranen (2014): Carbon footprint of renewable diesel from palm oil, jatropha oil and rapeseed oil; in: *Renewable Energy*, 69, 103-113.
- Valin, H., D. Peters, M. van den Berg, S. Frank, P. Havlik, N. Forsell, C. Hamelinck, with further contributions from: J. Pirker, A. Mosnier, J. Balkovic, E. Schmid, M. Dürauer, F. di Fulvio

-
- (2015): The land use change impact of biofuels consumed in the EU - Quantification of area and greenhouse gas impacts, Study commissioned and funded by the European Commission, A cooperation of Ecofys, IIASA and E4tech, Utrecht.
- Villoria, N., R. Garrett, F. Gollnow, K. Carlson (2022): Leakage does not fully offset soy supply chain efforts to reduce deforestation in Brazil, in: *Nature Communications*, Vol. 13, Article 5476, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33213-z>.
- Wicke, B., R. Sikkema, V. Dornburg, A. Faaij (2011): Exploring land use changes and the role of palm oil production in Indonesia and Malaysia, in: *Land Use Policy* 28, 193-206.
- WTO (2019): Request for Consultations by Indonesia, WTO Doc WT/DS593/1, G/L/1348, G/TBT/D/52, G/SCM/D128/1 (16 December 2019) (Indonesia's Request for Consultations).
- Xu, H., U. Lee, M. Wang (2020): Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions of palm fatty acid distillate derived renewable diesel, in: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 134, December, Article 110144.
- Yang, X., Y. Liu, A. Bezama, D. Thrän, D. (2022): Two birds with one stone: A combined environmental and economic performance assessment of rapeseed-based biodiesel production., in: *GCB Bioenergy*, Vol. 14, 215–241, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12913>.
- Zalles, V., C. Matthew, P. Hansen, V. Potapova, S. V. Stehman, A. Tyukavina, A. Pickensa, X.-P. Songa, B. Aduseia, C. Okpaa, R. Aguilera, N. Johna, S. Chaveza (2019): Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000, in: *The Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 116, no. 2, 428-435.
- Zhang, J., F. Su (2020): Land Use Change in the Major Bays Along the Coast of the South China Sea in Southeast Asia from 1988 to 2018, in: *Land*, Vol 9, No. 30; doi:10.3390/land9010030.
- Zhang, X., J. L. Tyler, C. M. Clark, Y. Yuan, S. D. LeDuc (2021): Grassland-to-cropland conversion increased soil, nutrient, and carbon losses in the US Midwest between 2008 and 2016, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 16, 1-13.
- Zhu, Y., Y. Xu, X. Deng, H. Kwon, Z. Qin (2022): Peatland Loss in Southeast Asia Contributing to U.S. Biofuel's Greenhouse Gas Emissions, in: *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 56, 13284–13293, <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01561>.
- Zu Ermgassen, E. K. H. J., B. Ayre, J. Godar, M. G. Bastos Lima, S. Bauch, R. Garrett, J. Green, M. J. Lathuillière, P. Löfgren, C. Mac Farquhar, P. Meyfroidt, C. Suavet, C. West, T. Gardner (2020): Using supply chain data to monitor zero deforestation commitments: an assessment of progress in the Brazilian soy sector, in: *Environ. Res. Lett.*, Vol. 15, Article 035003, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6497>.